

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: «Розробка анаеробного реактора для виробництва біогазу»

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

Факультет (інститут) _____ біотехнології і біотехніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ біотехніки та інженерії _____
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Напрямок підготовки _____ 13 «Механічна інженерія» _____
(код і назва)

Спеціальність _____ 133 «Галузеве машинобудування» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.М.Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Слепченко Юлії Валентинівні**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Розробка анаеробного реактора для виробництва біогазу»

науковий керівник дисертації Мельник Вікторія Миколаївна, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____ 7.12.2018 р. _____

3. Об'єкт дослідження анаеробний реактор для виробництва біогазу

4. Предмет дослідження енергетичні витрати та теплоперенос при
перемішуванні середовища в біореакторі нестандартним перемішуючим
пристроєм

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести огляд літератури за темою дисертації, теоретичне дослідження, комп'ютерне моделювання конструкції анаеробного реактора, практична реалізація розробленої конструкції, дослідження економічної доцільності виробництва і реалізації запропонованої конструкції анаеробного реактора.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Установка для виробництва біогазу, Апаратурно-технологічна схема; Реактор анаеробний, складальне креслення; Пристрій перемішу вальний, складальне креслення; 3D-модель анаеробного реактора – плакат 1; 3D-модель пристроя перемішувального – плакат 2; 3D-модель Складальні одиниці – плакат 3

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	к.е.н, доцент Ткаченко Тетяна Петрівна		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Огляд літератури	29.10-2.11.2018	
	Теоретичні	5.11-09.11.2018	
	Комп'ютерне моделювання	12.11-14.11.2018	
	Виконання розрахунків для практичної реалізації	15.11-19.11.2018	
	Виконання складальних креслень	20.11-24.11.2018	
	Розроблення стартапу	26.11-30.11.2018	
	Оформлення ПЗ	3.12-7.12.2018	
	Підготовка до захисту	8.12-17.12.2018	

Студент

 (підпис)

Слепченко Ю.В.
 (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

 (підпис)

Мельник В.М.
 (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Розробка анаеробного реактора для виробництва біогазу» / НТУУ «КПІ»; Керівник д.т.н., професор Мельник В.М. -К., 2018. – 160 с.: іл. – 61. Виконавець Слєпченко Ю.В. – Бібліогр.: 66 п.

Магістерська дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку умовних позначень та скорочень, переліку посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 160 сторінок, 61 рисуноків, 31 таблиці, 2 додатків і перелік посилань з 66 найменувань (на 8 сторінках).

Актуальність. Утилізація органічних відходів сільського господарства, шляхом їх зброджування в біогазових установках є одним з найбільш прогресивних, економічно ефективних і екологічно прийнятних рішень вилучення енергії з біомаси у вигляді біогазу, та отримання цінних органічних добрив. Україна володіє необхідними для синтезу біогазу природними і сільськогосподарськими ресурсами, однак за відсутність достатньої кількості теоретичних та експериментальних досліджень процесів гідродинаміки і теплообміну при перемішуванні в анаеробних реакторах, гальмує створення нових ефективних конструкцій обладнання для виробництва біогазу в Україні є обмеженим. Як наслідок, існуючі конструкції анаеробних реакторів не можуть повною мірою відповідати показникам ефективної роботи. Тому дослідження процесів гідродинаміки і теплообміну при перемішуванні в анаеробних реакторах з метою створення нових конструкцій для ефективного перемішування і забезпечення необхідного температурного режиму роботи реактора є актуальним.

Мета роботи: дослідження процесів гідродинаміки і теплообміну при перемішуванні в анаеробних реакторах з метою створення нових конструкцій для ефективного перемішування і забезпечення необхідного температурного режиму роботи реактора.

Об'єкт дослідження: анаеробний реактор для виробництва біогазу

Предмет дослідження: енергетичні витрати та тепло перенос при перемішуванні середовища в біореакторі нестандартним перемішуючим пристроєм

Методи досліджень: теоретичний аналіз процесу перемішування в біореакторі та параметри проведення процесу метанового зброджування, математичне моделювання, дослідження конструкції анаеробного реактора.

Результати роботи. В роботі описано процес синтезу біогазу з відходів сільського господарства в біореакторі-витискувачі, досліджено горизонтальну конструкцію біореактора проточного типу. Розглянуті технологічні параметри роботи та особливості гідродинамічної обстановки в апараті. Сформульовано математичну модель перемішування для зброджування субстратів, чутливих до напружень зсуву.

Новизна роботи. Полягає в розробленні нової конструкції перемішуючого пристрою анаеробного реактора для ефективного перемішування і забезпечення необхідного температурного режиму роботи реактора.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами проведеного дослідження спроектований анаеробний реактор для синтезу біогазу з відходів сільського господарства. Конструкція апарату дозволяє забезпечити перемішування маси в реакторі при обертанні мішалки з одночасним переміщенням маси, дозволяє забезпечити необхідний температурний режим.. Це дозволяє збільшити швидкість утворення метану та скоротити необхідний час перебування субстрату в анаеробному реакторі.

Апробація результатів дисертації. Було подано заявку про видачу патента на винахід.

ABSTRACT

Master's dissertation on the topic "Development of anaerobic reactor for biogas production" / NTUU "KPI"; Head of the doctor's degree, professor Melnik V.M. - K., 2018. - 160 p.: pic. - 30. Performer Slypchenko Y.V. - Bibliographer: 66 p.

Master's thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions, list of symbols and abbreviations, list of references and applications. Full body of work is 160 pages, 30 figures, 31 tables, 2 applications and a list of links to 66 items (8 pages).

Topicality. The utilization of organic waste from agriculture through digestion in biogas plants is one of the most progressive, cost-effective and environmentally acceptable solutions for biomass biogas recovery in the form of biogas, and the acquisition of valuable organic fertilizers. Ukraine possesses the necessary natural and agricultural resources for the synthesis of biogas, but in the absence of sufficient number of theoretical and experimental studies of processes of hydrodynamics and heat exchange during mixing in anaerobic reactors, the creation of new efficient structures of equipment for biogas production in Ukraine is limited. As a result, the existing designs of anaerobic reactors can not fully meet the performance indicators. Therefore, the study of processes of hydrodynamics and heat exchange during mixing in anaerobic reactors in order to create new structures for efficient mixing and ensuring the required temperature regime of the reactor is relevant.

Purpose: the study of processes of hydrodynamics and heat exchange during mixing in anaerobic reactors in order to create new structures for efficient mixing and providing the necessary temperature regime of the reactor.

Object of research: anaerobic reactor for biogas production

Subject of research: energy costs and heat transfer when mixing the medium in a bioreactor with a non-standard mixing device.

Research methods: theoretical analysis of mixing process in a bioreactor and methane fermentation process parameters, mathematical modeling, research of anaerobic reactor design.

Results of work. The process describes the process of synthesis of biogas from agricultural waste in bioreactor-extruder, the horizontal construction of a bioreactor of a flow type is investigated. The technological parameters of work and features of the hydrodynamic situation in the device are considered. A mathematical model of mixing for the digestion of substrate sensitive to stress bias is formulated.

The novelty of work. It is in the development of a new design of an anaerobic reactor stirring device for efficient mixing and providing the required temperature regime of the reactor.

The practical value of the results. According to the results of the study, an anaerobic reactor was designed for the synthesis of biogas from agricultural waste. The design of the apparatus allows for mixing the mass in the reactor while rotating the mixer with the simultaneous movement of the mass, allowing for the necessary temperature regime .. This allows you to increase the rate of methane formation and reduce the required residence time of the substrate in an anaerobic reactor.

Approbation of the results of the dissertation. An application for a patent for an invention was filed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	14
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	16
1.1.Відходи тваринництва та рослинної сировини в сільському господарстві.....	16
1.1.2. Класифікація відходів тваринництва та рослинної сировини	17
1.1.3 Характеристика рослинної сировини та відходів тваринництва у сільському господарстві.....	19
1.2 Способи і методи використання відходів тваринництва та рослинної сировини для біогазового виробництва	22
1.3 Огляд конструкцій апаратів для біогазового виробництва	26
1.4 Огляд анаеробних біореакторів	31
1.5 Визначення дослідної конструкції біореактора	43
1.6 Висновки	48
1.7 Постановка задач дослідження	49
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	50
2.1 Дослідження енергетичних витрат при перемішуванні.	51
2.2 Дослідження ефективності теплопереносу від горизонтальних трубок, що обертаються зі швидкістю $n = 0,011 \text{ c}^{-1}$, $n = 0,05 \text{ c}^{-1}$, $n = 0,1 \text{ c}^{-1}$	54
2.3 Результати чисельного експерименту	58
3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ АНАЕРОБНОГО РЕАКТОРА.....	60
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	64
4.1 Опис технологічного процесу синтезу біогазу при переробці гною	64
4.2 Конструктивні особливості обраного анаеробного біореактора.....	67

4.2.1 Порівняльний аналіз основних показників конструкції	67
з діючими аналогами	67
4.2.1.1 Реферати про найбільш суттєві технічні рішення.....	67
4.2.1.2 Відомості про використані винаходи, результати патентних досліджень і патентну чистоту	77
4.2.1.3 Відомості про використані винаходи, результати патентних досліджень і патентну чистоту	78
4.2.1.4 Висновки патентних досліджень	78
4.2.2 Принцип роботи анаеробного біореактора.....	79
4.2.3 Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів.....	80
4.3 Технічна характеристика апарату	82
4.4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	83
4.4.1 Технологічний розрахунок.....	83
4.4.2 Матеріальний баланс	86
4.4.3 Енергетичний баланс	89
4.4.4 Тепловий розрахунок метантенка	93
4.4.4.1 Тепловий баланс	93
4.4.4.2. Визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі	95
4.4.4.3. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі α_2 від труб до робочого об'єму в апараті	96
4.4.4.5. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі	97
4.4.5 Розрахунок розмірів елементів деталей, складальних одиниць,	99
кріпильних засобів та перевірка їх на міцність	99
4.4.5.1 Розрахунок циліндричної обичайки метантенка.....	100

4.4.5.3 Перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень	103
4.4.5.4 Розрахунок валу перемішуючого пристрою	111
4.4.5.4.1 Розрахунок валу на вібростійкість	111
4.4.5.4.2 Розрахунок валу на міцність	117
4.4.5.6. Розрахунок теплової ізоляції.....	128
4.4.5.7 Гідравлічний розрахунок метантенка	130
5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	135
5.1 Резюме.....	135
5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства	136
5.2.1 Загрози і можливості зовнішнього середовища	136
5.2.2 Переваги та недоліки внутрішнього середовища	137
5.2.3 Оцінка ринку збуту та конкурентного середовища за методом квадрату Бостонської матриці	138
5.2.4 Місце розробки у системи цінностей підприємства за методом Бостонської матриці	140
5.3 Ключові фактори успіху проекту.....	141
5.3.1 Оцінка ключових факторів успіху методом Шонфільда	141
5.3.2 Анкета для споживачів	142
5.4 Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки	143
5.4.1 Договір на виконання НДР.....	143
5.4.2 Калькуляція на продукцію	145
5.5 Ризики і страхування	147
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	151
ДОДАТОК А Заявка на корисну модель.....	159
ДОДАТОК Б Специфікації	160

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення:

S – концентрація сухої беззольної речовини завантажуваного в метантенк гною, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t – температура зброджування, $^{\circ}\text{C}$;

d – навантаження на метантенк по сухій беззольній речовині, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{доба})$;

τ – тривалість перебування гною в метантенку, доба;

$V_{\text{уд}}$ – питомий вихід біогазу на одиницю маси сухої беззольної речовини, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доба})$;

b/τ – швидкість виходу біогазу, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доба})$;

$V_{\text{роб}}$ – робочий об'єм метантенка, м^3 ;

$V_{\text{общ}}$ – загальний вихід біогазу, $\text{м}^3/\text{доба}$;

W – вологість гною, в %;

$\rho_{\text{об}}$ – об'ємна густина гною, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{ист}}$ – істинна густина гною (густина твердої фази), $\text{кг}/\text{м}^3$;

μ_m – максимальна питома швидкість росту біомаси мікроорганізмів, доба^{-1} ;

$S_{\text{кр}}$ – критичне значення концентрації сухої беззольної речовини завантажуваного в метантенк гною, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K – кінетичний параметр процесу;

K_r – коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^3 \cdot \text{доба}/\text{кг}$;

$G_{\text{гн}}$ – кількість зброджуваного гною за добу, $\text{м}^3/\text{доба}$;

ϕ – коефіцієнт заповнення;

D – діаметр апарата, м;

H – висота заповнення апарата, м;

z_n – число мішалок на валу, штук;

ζ – коефіцієнт опору мішалки;

n - частота обертання мішалки, хв^{-1} ;

d_m – діаметр мішалки, м;

$Re_{\text{ц}}$ – відцентровий критерій Рейнольдса;

$\rho_{\text{гн}}$ – густина рідкого гною, кг/м^3 ;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідкого гною, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

d_b – діаметр вала, м;

d_m – діаметр мішалки, м;

w – швидкість потоку, циркулюючого в апараті, м/с ;

K_N - критерій потужності мішалки;

N - потужність, що витрачається на перемішування, Вт;

ρ_B – густина біогазу, кг/м^3 ;

$a_1, a^b, a^{met}, a^{CO_2}, a^{H_2O}$ – стехіометричні коефіцієнти гною, біогазу, абсолютно сухої біомаси (АСБ), вуглекислого газу, води, відповідно;

$V_{\text{гн}}$ – об'єм сухого гною в метантенку, м^3 ;

G'_m - дійсна кількість метану, що утворюється в метантенку за весь час проведення процесу зброджування, кг;

q' – кількість теплоти, що виділяється при спалюванні 1 кг сухої речовини, кДж/кг ;

Q – теплове навантаження апарату, кДж ;

E_T – кількість тепла, що виділяється під час біосинтезу 1 кг АСБ, кДж/кг АСБ ;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від робочого об'єму до труби, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки труби, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

δ - товщина стінки теплообмінного пристрою, м;

r_3 – термічний опір забруднень, $(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до робочого об'єму, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

Nu – критерій Нусельта;

Pr - критерій Прандтля;

D_v – діаметр труби, м;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідкого гною, Па·с;

W_T – швидкість в трубах, м/с;

$d_{зм}$ – внутрішній діаметр труби, м;

Pr_T – критерій Прандтля для теплоносія в трубах;

c_v – теплоємність теплоносія в трубах, Дж/(кг·К);

μ_v – коефіцієнт динамічної в'язкості теплоносія в трубах, Па·с;

λ_v – коефіцієнт теплопроводності теплоносія в трубах, Вт/(м·К);

$t_{вих}$ – температура теплоносія на виході зі труби, °С;

G_v – масова витрата води у трубах, кг/с;

$\Delta 12:25$ – середньо-логарифмічна різниця температур рідкого гною і теплоносія (води) в трубах, °С;

$F_{ном}$ – номінальна поверхня теплообміну, м²;

$F_{розн}$ – розрахункова поверхня теплообміну, м².

Скорочення:

UASB – реактор з висхідним потоком рідини;

EGSB – реактор з розширеним шаром гранульованого мулу;

ABR – перегородчастий реактор;

CSTR – реактор-змішувач напівпроточного типу;

PFR – реактор витискувач проточного типу;

ACR – контактний анаеробний реактор;

БЕУ – біоенергетична установка;

COP – суха органічна речовина;

ВСТУП

Біогаз є одним з біологічних видів палива, яке може вироблятися із відходів та побічної продукції сільського господарства. Негативні тенденції у видобутку та використанні призводять до поступового їх вичерпання. За таких умов потрібно знаходити альтернативні джерела енерг, зокрема з поновлювальних видів сировини, в якості якої можуть бути сільськогосподарські культури, продукція їх переробки та відходи агропромислового комплексу. Особливого загострення ця проблема набула останніми роками, коли нафта та газ почали дорожчати, попит на них зростати. Одночасно в агропромисловому секторі накопичуються великі обсяги органічних відходів тваринного та рослинного походження, що призводить до забруднення навколишнього середовища. Одним з напрямків вирішення цих проблем є використання процесу метанового зброджування, в результаті якого крім біогазу можна отримувати високоякісні органічні добрива. Ефективність процесу зброджування можна підвищити шляхом вдосконалення конструкції анаеробного реактора для проведення процесу зброджування, та застосовуючи технологію сумісного зброджування [1]. Однією з таких країн є й Україна. В Україні практично відсутня методика вибору та розрахунку біогазових реакторів, тому теоретичні дослідження конструкцій анаеробних реакторів для виробництва біогазу з метою інтенсифікації метанового зброджування є актуальною науковою задачею.

Серед існуючих систем анаеробної переробки органічної сировини використання анаеробних реакторів вважається найбільш ефективним та економічним. В роботі розглядається анаеробний реактор. Такі апарати використовуються для невеликих біогазових установок, вони легко обслуговуються та дозволяють регулювати: технологічний режим роботи, продуктивність по біогазу, якість органічних добрив.

Впровадження анаеробних реакторів в Україні ускладнене відсутністю методичних вказівок з їх проектування, які враховують гідродинамічні, тепло-

і масообмінні процеси, що протікають в реакторі. Дослідження процесів перемішування за допомогою математичних моделей розроблені недостатньо.

Метою даної дисертації є дослідження процесів гідродинаміки і теплообміну при перемішуванні в анаеробних реакторах з метою створення нових конструкцій для ефективного перемішування і забезпечення необхідного температурного режиму роботи реактора.

Підвищення ефективності роботи в таких реакторах можливе при використанні установки з двома паралельно діючими реакторами. Крім того, використання технології сумісного зброджування субстратів дозволяє вдвічі підвищити продуктивність апарату. Встановлення мішалок перемішуючого пристрою під певним кутом та дотримання необхідної потужності також позитивно відображаються на ефективності реактора.

Об'єкт дослідження: анаеробний реактор для виробництва біогазу

Предмет дослідження: енергетичні витрати та тепло перенос при перемішуванні середовища в біореакторі нестандартним перемішуючим пристроєм

Наукова новизна одержаних результатів досліджень полягає в розробленні нової конструкції перемішуючого пристрою анаеробного реактора для ефективного перемішування і забезпечення необхідного температурного режиму роботи реактора.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Відходи тваринництва та рослинної сировини в сільському господарстві

Вирішення проблеми вторинного використання виробничих та промислових відходів набуває особливої важливості в останні десятиліття - запаси ресурсів поступово виснажуються, перед людством постає завдання повного або комплексного використання всіх видів відходів.

Сільське господарство є такою галуззю, що містить цінні енергетичні компоненти. Щорічно в галузях тваринництва та рослинництва накопичуються тисячі тонн відходів, з яких можна отримати понад 60 млрд. куб. метрів біогазу та понад 100 млрд. кВт електроенергії. Таким чином, весь сільськогосподарський комплекс нашої держави може забезпечити енергетичну незалежність від централізованого використання природних енергоресурсів з боку країни.

На сучасному розвитку України існують актуальні проблеми, що заважають впровадженню сучасних методів переробки та утилізації відходів. Серед головних проблем впровадження методів переробки відходів рослинництва та тваринництва належать: недостатня наукова обґрунтованість систематизації сільськогосподарських відходів; застосування дорогих технологій для переробки сировини і обладнання від іноземних виробників; відсутність економічного обґрунтування для певних сільськогосподарських підприємств; відсутність державної підтримки для впровадження методів енергозбереження.

Досвід розвинених країн свідчить, що використання відходів сільськогосподарських підприємств є обов'язковою умовою діяльності підприємства. Так, на м'ясопереробних заводах проводиться збір відходів (кров, кістки, тельбухів), які використовуються у виробництві кормових продуктів. Перо птахів, шкури, роги і копита використовуються для

виробництва товарів широкого споживання, а також для отримання амінокислотних препаратів.

Сільськогосподарські виробництва країн Євросоюзу з відходів рослинної сировини одержують технічний етиловий спирт, дріжджові концентрати, молочну, лимонну, оцтову і глютамінову кислоти, фурфурол, сухі корми для худоби та домашніх тварин. Неперероблювані відходи виробництва (гній) використовується для виробництва теплової та електричної енергії, для компосту та добрив для полів.

Отже, сільськогосподарські відходи рослинної та тваринної сировини – є цінними компонентами для одержання хімічних речовин, вітамінів, кормів, добавок та інших біологічно активних речовин.

1.1.2. Класифікація відходів тваринництва та рослинної сировини

На сьогодні сільськогосподарські відходи хоч і є цінною сировиною, але не завжди знаходять застосування. У сільськогосподарських підприємствах не плануються показники, які б характеризували їх роботу щодо підвищення родючості ґрунту, внесення добрив, особливо органічних. Тому й виникає необхідність у раціональному управлінні відходами.

Класифікація відходів за джерелом походження впливає на порядок їх визнання та оцінки з метою переробки для добування біогазу, а також визначення подальших дій з такими відходами (можливість використання для власних потреб, реалізація, утилізація, видалення тощо). Від обраних дій щодо поводження з відходами буде залежати енергетичний результат діяльності виробництва (таблиця 1).

Класифікація відходів за ступенем безпеки впливають на організацію переробки відходів, тобто такими відходами, які загрожують навколишньому природному середовищу та здоров'ю людей. Відходи можуть утилізуватися власними силами або ж залучати переробні підприємства, які спеціалізуються на таких видах діяльності.

Відходи можуть перероблятися біологічним, термічним, механічним або ж хімічним способами залежно від їх характеристик і властивостей.

Виходячи із запропонованої класифікації відходів, необхідною є розробка методики переробки відходів виробництва, основними видами якого в сільському господарстві є рослинництво та тваринництво.

Враховуючи спеціалізацію сільських господарств України, до основних відходів рослинництва відноситься солома, що утворюється після переробки пшениці, стебла кукурудзи та соняшника, рештки плодів та овочів тощо.

До відходів тваринництва відноситься гній великої рогатої худоби, свиней та птиці тощо. Однак не увесь гній можна вважати відходами, оскільки якщо він правильно підготовлений, то є цінним дефіцитним органічним добривом замість мінеральних добрив, використання яких суттєво забруднює землю хімічними елементами.

Таблиця 1.1

Класифікація відходів сільськогосподарських підприємств

Класифікація відходів сільськогосподарських підприємств	
1. За джерелом походження	Відходи головних виробництв Відходи допоміжних виробництв Відходи підсобних виробництв
2. За ступенем безпеки	Безпечні Небезпечні
3. За способом утилізації	Власними силами За допомогою переробних підприємств
4. За методами переробки	Біологічний метод Термічний метод Механічний метод Хімічний метод

Тому виникає питання, який гній можна вважати цінною сировиною для сільського господарства, а який – відходами, з якими необхідно поводитися обережно, не забруднюючи навколишнє середовище. Так, у Листі Міністерства доходів і зборів України від 17.06.2013 р. № 8443/7/99-99-15-04-

01-17 «Стосовно сплати екологічного податку за послід і гній» зазначено, що пташиний послід включено до групи відходів – 01, класифікаційне угруповання – 012, коди: 0121.2.6.03 «Екскременти, сечовина та гній (включно струхлявіле сіно та солома) від худоби» та 0124.2.6.03 «Послід пташиний». Таким чином, виключно пташиний послід є відходами тваринництва, що потребують подальшої утилізації та не можуть бути використані як органічне добриво.

Рослинні відходи бувають твердих фракцій, але є і рідкі, наприклад, картопляний сік, стічні води від промивання. Всі залишки рослинної сировини можуть бути використані для виробництва кормів і добавок, а також для отримання паливних гранул і біогазів.

1.1.3 Характеристика рослинної сировини та відходів тваринництва у сільському господарстві

Рослинні відходи як паливо мають ряд негативних властивостей, що вимагає досить ретельного підходу до їх застосування. Так, солома може містити хлор і лужні метали, завдяки чому в процесі її спалювання утворюються такі хімічні сполуки як хлорид натрію і хлорид калію. Ці сполуки викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання, особливо при високих температурах. Іншою особливістю соломи як палива є відносно низька температура плавлення золи – 800-950 °C (для порівняння – у деревини ~1200 °C), що може призвести до шлакування елементів енергетичного обладнання.

Але на сьогодні в світі вже знайдено конструктивні та інші технологічні рішення, що мінімізують ці негативні впливи і дозволяють успішно використовувати соломі як паливо. Прикладами таких рішень є сумісне спалювання з вугіллям, деревиною та іншими паливами або використання не «жовтої» (свіжої) соломи, а «сірої», тобто з тривалим терміном зберігання під

відкритим небом. В останній міститься суттєво менше хлору та калію у порівнянні з жовтою соломою внаслідок «промивання» дощами. Щодо України, то цілком можна припустити, що вміст хлору й лужних металів в її соломі менший, ніж в соломі інших країн. Це пов'язане зі значним скороченням внесення мінеральних добрив під посіви протягом останніх 20 років. Стебла кукурудзи також містять хлор й лужні метали. Згідно даних, вміст хлору становить 0,2% маси сухої речовини, що близьким до показника «сірої» соломи. Вміст калію, виходячи з наявних даних для стрижнів кукурудзи, такий же, як в соломі (6,1 мг/кг с.р.). Температура плавлення золи у стебел кукурудзи вища, ніж у соломи – 1050-1200 °С. Це є позитивним фактором з точки зору застосування як палива. Крім того, в стеблах кукурудзи майже на порядок менший вміст сірки, ніж в соломі. Проведене дослідження показало можливість успішного спалювання тюків зі стебел кукурудзи в котлі¹⁷, призначеному для тюкованої соломи зернових культур. Однією з відмінностей було утворення більшого обсягу золи – 9,2% для стебел кукурудзи проти 2,6% для соломи. Для зменшення обсягу золи рекомендується використовувати тюки зі стебел кукурудзи не високої щільності (~105 кг с.р. 18/м³), а низької та середньої (~80 кг с.р./м³). В цьому випадку об'єм золи знижується до 6,2%. Середній рівень викидів СО при спалюванні стебел кукурудзи був вище, ніж для соломи (2725 мг/м³ проти 2210 мг/м³), а NO_x й SO₂ – нижче (мг/м³): 9,8 проти 40,4 й 2,1 проти 3,7, відповідно. Про стебла соняшника як паливо інформації наразі небагато. За даними їх елементарний склад близький до складу соломи й стебел кукурудзи, але вміст золи вищий – близько 10% маси сухої речовини. Вміст лужного металу калію також суттєво вищий – до 5% маси с.р. Прикладів виробництва енергії зі стебел соняшника на сьогодні не знайдено.

Гній та послід тваринного виробництва містять патогени, бактерії, стійкі до антибіотиків, і тому можуть стати причиною поширенням хвороб. Близько половини всіх антибіотиків у світі використовуються саме в тваринництві для запобігання хворобам. Надмірне використання антибіотиків на фермах

призводить до виникнення та поширення вірусів та бактерій, стійких до антибіотиків. Через гній або послід вони потрапляють до навколишнього середовища і спричиняють захворювання тварин та людей. Наприклад, у відходах промислових ферм може міститися метицелін-резистентний стафілокок – смертельно небезпечна бактерія, стійка до антибіотиків. Метицелін-резистентний стафілокок є збудником таких захворювань, як сепсис, пневмонія. Гній та послід є також джерелом викидів аміаку, метану та інших газів у повітря. При зберіганні у лагунах відкритого типу або внесенні на поля у великій кількості місцеве населення, що проживає поряд з промисловими фермами, потерпає від неприємного специфічного запаху.

В Україні такі складові запаху, як метилмеркаптан, диметиламін, диметилсульфід не нормуються. Нормуються лише основні сполуки, такі, як метан, аміак, діоксид азоту, але і сучасні межі санітарно-захисних зон зазвичай недостатні, щоб запобігти експозиції місцевого населення до запаху, який спричинює зниження самопочуття, імунітету, алергічні реакції, респіраторні захворювання.

Окрім неприємного запаху, що розповсюджується на кілометри, викиди від промислових ферм є шкідливими для довкілля та спричиняють у зміну клімату. Відповідно до оцінок Всесвітньої організації з продовольства та сільського господарства, тваринництво відповідає за 18 % від усіх викидів парникових газів людства¹⁵ - це більше, ніж викиди від транспорту. Гній та послід спричиняють викиди 7 % загального обсягу від викидів закису азоту, який є одним із найнебезпечніших парникових газів.

Промислове тваринництво через утворення великої кількості гною та посліду є одним із основних джерел викидів аміаку. Наприклад, у країнах ЄС (ЄС-27) тваринництво відповідає за 51 % всіх викидів аміаку. Аміак виділяється в атмосферу переважно під час утворення гною та посліду на полях при вільновигульному утриманні, зберіганні гною та посліду в лагунах та внесенні гною та посліду на поля. Викиди аміаку небезпечні, оскільки аміак може викликати закиснення ґрунтів та евтрофіацію.

На додаток до цього, аміак є передвісником вторинних PM_{2.5} та PM₁₀ в атмосфері, які мають негативний вплив на здоров'я населення. Аміак також є непрямим джерелом оксиду азоту, потенційного парникового газу.

Враховуючи проблеми з відходами тваринництва, поводження з ними вимагає жорсткого регулювання, особливо для промислових ферм. Наприклад, у країнах Європейського Союзу Директива 2010/75/ЄС щодо промислових забрудників регулює екологічні вимоги для ферм потужністю більше 40 000 курей, 2000 свиней та 750 свиноматок.

Вимоги, які висувають перед промисловими фермами щодо поводження з відходами та запобігання забрудненню унеможливають збір та накопичення відходів у відкритих лагунах в обсягах, характерних для України. Тому підприємства шукають альтернативні шляхи утилізації. За цих умов найбільш анаеробна переробка відходів тваринництва (окремо або в поєднанні з іншими субстратами) може розглядатися як найкраща з наявних технологій¹⁸, адже переробка відходів тваринництва на біогазових заводах дає змогу частково зменшити екологічні проблеми та має суттєві економічні переваги у вигляді децентралізованого виробництва відновлюваної енергії.

1.2 Способи і методи використання відходів тваринництва та рослинної сировини для біогазового виробництва

Біоконверсія рослинних відходів у корми і цінні поживні добавки. В агрегатах для біоконверсії знищуються всі види хвороботворних мікроорганізмів, яйця гельмінтів, личинки комах. В результаті відновлюється кормова цінність сировини, навіть, якщо піддавалося неправильного зберігання. По суті, біоконверсія схожа на перший етап перетравлення їжі в шлунку тварин і птахів, тому вуглеводно-білкові концентрати відрізняються високою засвоюваністю, зниженням рівня енергії і ферментів, необхідних для травлення. Технологія біоконверсії дозволяє отримувати корми з високою

поживною і вітамінної цінністю. Саме виробництво є безпечним для екологічного середовища. Лінії біоконверсії можуть працювати упродовж року, вони прості в обслуговуванні і не вимагають спеціальної кваліфікації робітників.

У розвинених країнах рік від року зростає виробництво пелет з відходів рослинної сировини. У нашій країні - це неактуальний ресурс, переважно такі відходи використовують для підживлення ґрунту. Паливні гранули можуть значно скоротити витрати на закупівлю вугілля та інших видів енергоресурсів, вони мають високу калорійність і дешеві у виробництві. Отримання пелет з відходів рослинництва - прогресивне спрямування для розвитку та дрібної переробки.

Біогазові установки дозволяють переробляти відходи з отриманням метану. Газ можна використовувати на потреби самого підприємства або для забезпечення обігріву будівель та холодної води. Недолік методу - дорожня установка, необхідність в постійному підвезенні великої кількості відходів. Біогазові установки ефективно використовувати на великих підприємствах переробного комплексу.

Вторинна сировина тваринництва має органічне походження. До них належать: гній і гнойові стоки з ферм великої рогатої худоби, свинарських комплексів, курячий та інший пташиний послід, підстилка - солома, торф, трава.

В даний час гній та інша вторинна сировина з ферм вивозяться на поля і заорюються в землю. Але існують більш прогресивні технології переробки, серед яких компостування, отримання біопалива, високоякісних добрив і білково-вітамінного концентрату.

Первинна переробка гною - важливий напрямок для пошуку нових технологій. З одного боку - це цінне джерело вітамінів, мікроелементів, метану, з іншого - ідеальне середовище для розвитку хвороботворних мікробів, яєць паразитів, бактерій гниття і бродіння. В даний час існують

комплексні установки, що дозволяють отримувати цінні добрива, біогази і білково-вітамінні концентрати для годівлі тварин.

На першому етапі переробки відходи поміщаються в приймальну камеру і нагріваються до оптимуму, при якому починається бродіння бактерій. При нагріванні гинуть всі мікроорганізми і біологічні об'єкти, складні сполуки розпадаються на прості. На другому етапі в установці проводиться зброджування в безкисневому середовищі. При цьому виділяється метан, який використовують для нагріву води або опалення будівель. Сировина набуває поживну цінність - всі хімічні сполуки фосфору, азоту і калію переходять в форму, яка прекрасно засвоюється рослинами. Анаеробні бактерії в процесі життєдіяльності виділяють сполуки, які стимулюють ріст і врожайність сільгоспкультур. На третьому етапі сировину розділяється на тверду і рідку фракції. На четвертій і п'ятій стадії виробляються і сушаться гранульовані добрива. На шостій стадії в рідку фракцію відходів вносяться бактерії, які збагачують сировину білком. Потім його сепарують і виділяють концентрат.

Таким чином, первинна переробка сільськогосподарських відходів - ефективні біотехнології, спрямовані на розумне використання цінних компонентів.

Анаеробне зброджування гною або посліду дасть змогу частково вирішити проблеми з відходами тваринництва, а саме зменшити ризик забруднення ґрунтів та води, зменшити викиди в атмосферу та вплив на зміни клімату. При анаеробному зброджуванні відходів, гній та послід не зберігається тривалий час у лагунах, що зменшує ризики, пов'язані з розгерметизацією, вимиванням, аварійними ситуаціями. Також зменшується ризик понаднормового внесення гною або посліду на поля. Значно зменшується ризик забруднення ґрунтів та води азотом, фосфором та іншими поживними речовинами, та, відповідно, загроз для питного водопостачання та водно-болотних угідь.

При анаеробному зброджуванні відходів тваринництва запах є значно менш інтенсивним, зменшується експозиція до запаху місцевого населення.

Залежно від технології переробки, залишки від процесу бродіння з біогазових установок можуть використовуватись в як добрива у сільському господарстві.

Залишки від бродіння є повноцінним добривом, яке за своєю дією схоже на мінеральні добрива. У хімічному плані вони є набагато менш агресивними, ніж сирий гній, вміст мінералізованих форм азоту в них є вищим, а запах менш інтенсивним. Залишки від бродіння містять значну кількість легкодоступного для рослин азоту, крім того – фосфор, калій, сірку та мікроелементи.

Поживний склад залишків бродіння може сильно коливатися, залежно від субстратів, які використовуються, але в середньому вміст азотних речовин у залишках бродіння зберігається на 70 %, вміст калію та фосфору – на 100 %, на відміну від сирого гною та посліду. Відповідно, фермер повинен компенсувати тільки 30 % азотних речовин за рахунок мінеральних добрив, а калій та фосфор покриваються в пропорції 1:1.

За рахунок застосування залишків бродіння зменшується шкідливий вплив попереднього циклу на навколишнє середовище, як у зв'язку з парниковими викидами, так і в плані використання мінеральної сировини.

Біогаз, отриманий анаеробним зброджуванням відходів тваринництва, може використовуватися для виробництва електроенергії та тепла, замінювати викопні енергоносії, такі, як вугілля, природний газ і нафта, використання яких спричиняє велику кількість парникових викидів.

Викиди парникових газів при використанні біогазу залежать, окрім викидів із попереднього циклу (виробництво біогазу), передусім від ступеня ефективності, використання тепла, а також від кількості метану у викидах від блочної ТЕЦ. Окрім значного впливу викидів із попереднього циклу (виробництва біогазу) і відповідних параметрів (типу процесу енергопостачання, використання відходів, викидів метану тощо), на кількість викидів істотно впливає ефективність використання тепла в різних установках. Загалом, при виробництві електроенергії з біогазу, який утворюється при переробці гною та посліду, можливе скорочення парникових викидів

порівняно з викопними енергоносіями у 2-8 разів. Крім того, при використанні біогазових установок відбувається зменшення викидів парникових газів за рахунок застосування добрив із залишками бродіння від виробництва біогазу.

Мінеральні добрива отримуються на гірничих підприємствах в енергоємному процесі. Так, виробництво однієї тонни азотного добрива відповідає енергетичній цінності близько двох тон нафти. За рахунок використання залишків бродіння як заміника добрив відбувається заощадження парникових викидів до 16,24 кг CO₂ екв./т сухої маси порівняно з мінеральними добривами. При використанні залишків бродіння як добрив порівняно зі звичайними органічними і мінеральними добривами, парникові викиди зменшуються приблизно на 67%. Найбільша економія досягається в процесі ферментації гною великої рогатої худоби.

1.3 Огляд конструкцій апаратів для біогазового виробництва

Найбільш раціональним способом вилучення енергії з біомаси є анаеробне (метанове) зброджування, в результаті якого утворюються продукти розкладу – біогаз та відферментована маса, що мають велику практичну цінність як газоподібне паливо та органічні добрива [2]. Утилізація біогазу здійснюється спалюванням його в котлах з метою одержання пари чи гарячої води для теплозабезпечення чи в двигунах внутрішнього згоряння з метою отримання електроенергії [3].

Вибір біореактора має вирішальне значення в процесі виробництва біогазу. В [4] обґрунтовано вибір конструкції анаеробного біореактора. Досліджується ефект перемішування на вихід біогазу в періодично діючих біореакторах при температурі 38°C, а також в інших температурних умовах.

Вихід біогазу відрізняється у вертикальних та горизонтальних конструкціях біореакторів в умовах перемішування та підігрівання (таблиця 1.2).

На рисунку 1 показано, що специфічний вихід біогазу л/л·доба на 70% більше в горизонтальних конструкціях біореакторах в порівнянні з вертикальними при кімнатній температурі. Така ж тенденція спостерігається в умовах перемішування при кімнатній температурі (перемішування здійснювалось протягом 2 хв кожні півгодини).

Таблиця 1.2 – Показники виходу біогазу та метану

Форма біореактора	Умови	Температура **, °C	Біогаз, л/кг СОР	Метан, л/кг СОР	Метан **, %
Горизонтальна	Контроль датчиками *	24.7	293.2	190.0	64.8
	Перемішування при кімнатній температурі	25.1	171.2	109.0	63.7
	Підігрівання та перемішування	38.7	353.1	233.7	66.2
Вертикальна	Контроль датчиками *	24.9	179.0	112.4	62.8
	Перемішування при кімнатній температурі	24.5	104.7	69.2	66.1
	Підігрівання та перемішування	38.1	468.1	284.1	60.7

*: При кімнатній температурі

**: Середні значення температури та вміст метану

Вихід біогазу в вертикальних конструкціях біореакторів в умовах перемішування при кімнатній температурі складає 0,06 л/л·доба, в умовах перемішування та підігрівання - 0,27 л/л·доба.

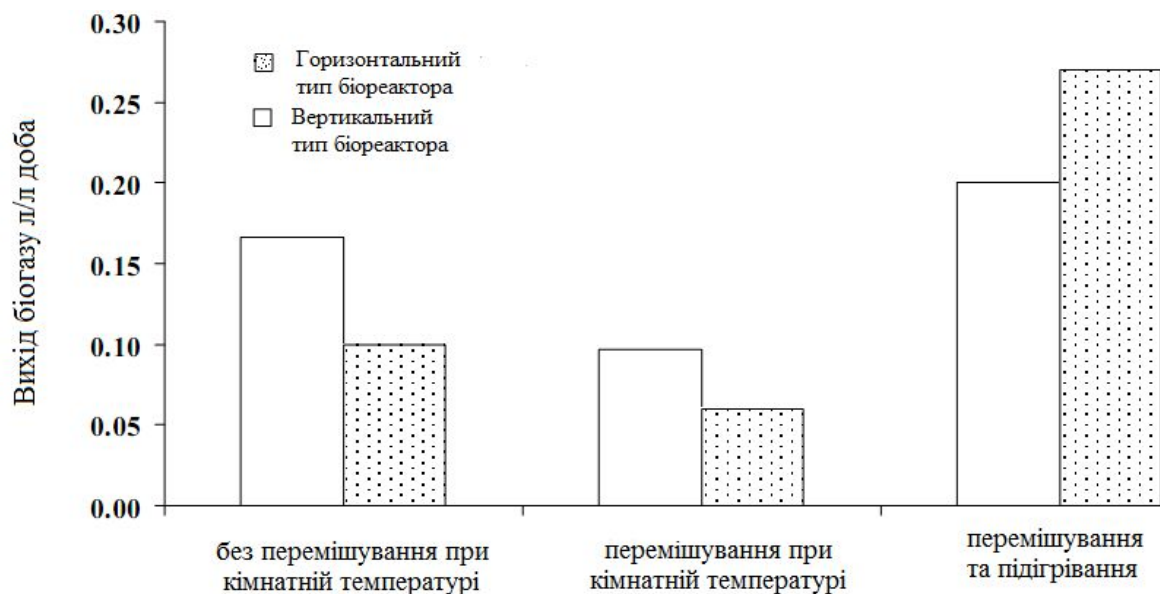


Рисунок 1.1 Специфічний вихід біогазу л/л·доба в біореакторах

В джерелі [5] представлені дослідження реологічної поведінки ферментаційних субстратів, що використовуються у виробництві біогазу, а також оцінюється вплив режиму потоку в біореакторах з перемішуванням (рисунок 2). Для характеристики поведінки потоку використовувався трубчатий віскозиметр. Було визначено, що навіть незначна зміна в'язкості здійснює суттєвий вплив на профіль потоку, а отже й на час перемішування. Однак, досліди також демонструють, що підвищення в'язкості не означає більшу тривалість змішування. Проте, якщо в'язкість субстратів занадто велика, то неможливо визначити оптимальне співвідношення занурення мішалок, і це може призвести до утворення застійних зон.

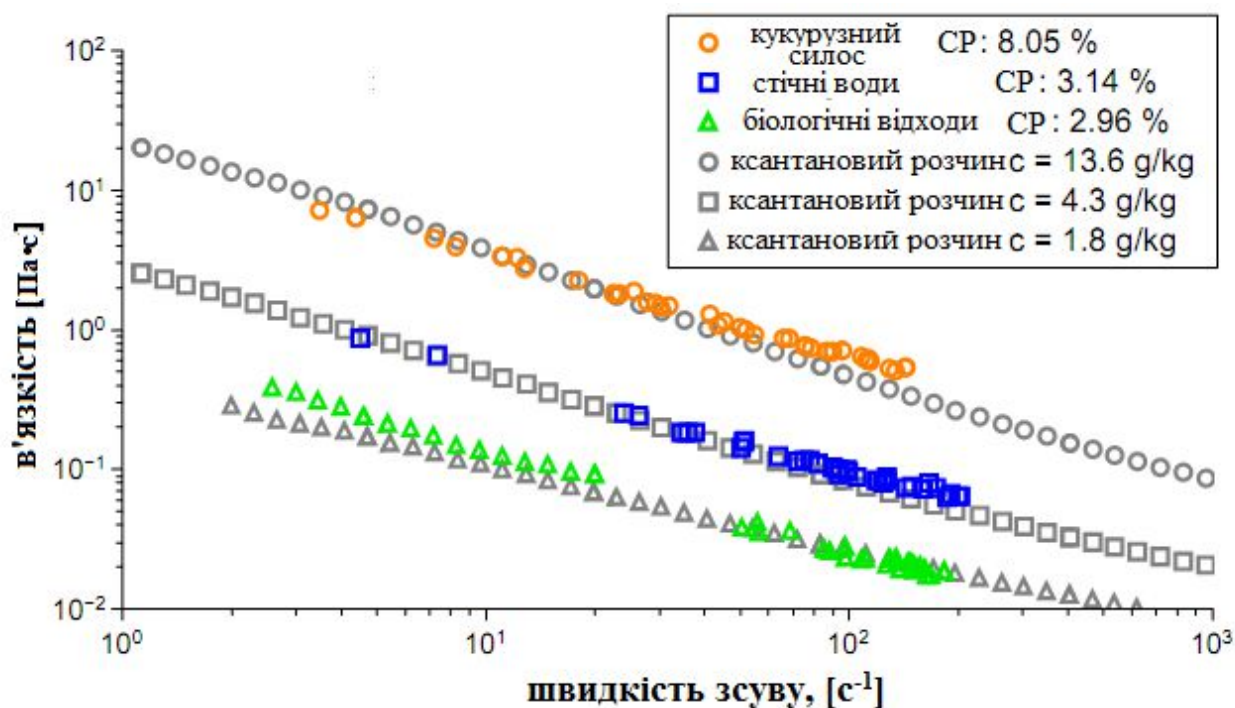


Рисунок 1.2 – Реологічна поведінка ферментаційних субстратів, що описують модель рідини

Дослідження виробництва біогазу привертає усе більше уваги до періодично та безперервно діючих установок [6]. Зокрема, в періодично діючих установках встановлена залежність зв'язку між добовою дозою завантаження у біореактор та виходом біогазу. Проте, відсутність

експериментальних залежностей, яка обумовлена відмінностями в конструкціях біореакторів, різноманітними характеристиками використовуваних субстратів обумовлює потребу у проведенні додаткових досліджень в цій області.

Семененко В.І. в [2] були розглянуті основи проектування промислових та фермерських біогазових установок, розробка технологічних схем та розрахунків основного обладнання. Показані шляхи використання продуктів метанового зброджування. Розкрито вплив різноманітних факторів на технологію зброджування, запропонована методика еколого-економічної оцінки впровадження установки.

В [15] визначено основні вимоги до конструкцій біогазових установок, приведено результати аналізу конструкцій, що пропонуються для впровадження в умовах України.

Робота [16] присвячена стану розробки технологій та обладнання виробництва біогазу при переробці органічних відходів тваринництва України, зокрема Запорізької області, а також технічні показники вітчизняних біоенергетичних (біогазових) установок.

Певним досвідом розробок біогазових установок в Україні володіють такі компанії: УкрНДІагропроект, Стелком, Альтек та ін. Ці компанії мають проектно-технічну документацію для будівництва біогазових установок різного об'єму метантенків. На жаль, за різними причинами (в основному фінансовими) практичного впровадження ці установки не одержали [3].

В 2003 році була запущена перша на Україні крупна біогазова установка на свинофермі компанії «Агро-Овен» в с. Оленівка Магдалинівського району Дніпропетровській обл. в рамках проекту технічної допомоги уряду королівства Нідерландів (рисунок 1.3). Обладнання поставляла компанія BTG (Нідерланди); проектні роботи виконував «УкрНДІагропроект»; монтаж, налагодження та навчання проводили BTG, НТЦ «Біомаса» та «УкрНДІагропроект». Установка призначена для обробки 80 т / добу стоків

гною від свиноферми з 15 тис. голів. Річна продуктивність біогазу складає 1,2 млн. м³. Встановлена потужність – 160/320, кВт (електрична/теплова).



Рисунок 1.3 – Загальний вид біогазової установки в с.Оленівка

Також зараз перебувають в експлуатації й інші біогазові установки. Наприклад, біогазова установка в с. В. Крупіль (рисунок 1.4), (Київська обл.) з проектною річною продуктивністю біогазу 2,2 млн. м³ та потужністю – 500/800, кВт (електрична/теплова). Біогазова установка в смт. Терезине, (Київська обл.) має проектні показники – 2,0 млн. м³ та 450/720, кВт [6].



Рисунок 1.4 - Будівництво станції с. В. Крупіль

На даний момент за замовленням в ІТМ УААН (м. Запоріжжя) виконується розробка бізнес-планів, техдокументації, виготовлення та

експлуатаційне впровадження біогазових установок з урахуванням поголів'я ферм та рішення цілей замовника.

Висновки

Отже, провівши огляд вітчизняних та закордонних джерел слід зазначити, що недостатньо розглянутими та такими, що потребують додаткових досліджень є наступні питання: проектування конструкцій анаеробних реакторів перемішування в біореакторах і шляхів забезпечення температурного режиму роботи реакторів

1.4 Огляд анаеробних біореакторів

Анаеробне зброджування здійснюється в біогазових установках (БГУ). Згідно з вітчизняною і закордонною літературою БГУ поділяють за декількома основними ознаками. БГУ класифікують за типами технологічних схем (характеризують процеси завантаження – вивантаження субстрату): а) із періодичною схемою (періодичної дії); б) із проточною схемою (умовно (квазі) безперервної дії); в) із біореактором-збірником. За продуктивністю БГУ класифікують на: а) малі (об'єм реактора до 50 м^3); б) середні ($50 - 200 \text{ м}^3$); в) великі (понад 200 м^3). За метою будівництва БГУ можна розділити на: а) побутові (сімейного типу); б) пілотні (дослідницькі); в) промислові. За типом субстрату БГУ класифікують на: а) сільськогосподарські; б) комунальні; в) БГУ з перероблення відходів переробної галузі АПК; г) змішані. За температурним режимом БГУ класифікують на: а) психрофільні ($20-55^\circ\text{C}$); б) мезофільні ($30-35^\circ\text{C}$), інколи виділяють термотолерантні (40°C); в) термофільні ($50-55^\circ\text{C}$) [3].

За розміщенням біореактора БГУ бувають: а) надземні; б) підземні. За формою біореактори поділяються на: а) кубічні (паралелепіпед); б) циліндричні (горизонтальні або вертикальні); в) сферичні; г) інші складніші форми (еліптичні тощо). В біореакторах теплопостачання може здійснюватись

наступним чином: а) підведення тепла тільки поза біореактором (покриття потреби в енергії біореактором здійснюється ззовні, тобто поза ним); б) підведення тепла як поза, так і в біореакторі за допомогою теплового агента (ТА) (принципово підведення тепла в біореакторі) може здійснюватись двома способами, якщо: 1) ТА міститься всередині; 2) ТА міститься ззовні (теплова сорочка, змійовик тощо). Використання різних систем перемішування в біореакторі дає змогу здійснити поділ БГУ на: а) БГУ з механічним перемішуванням: 1) ручний привід; 2) електричний привід: система із міксером (пропелером) і центральною трубою або без неї; система із лопатками розміщеними по осі; система із широкими крилами (лопастями) розміщеними по осі; б) БГУ з гідравлічним перемішуванням: 1) з використанням відцентрових pomp; 2) з використанням гідроелеваторів; в) БГУ з пневматичним перемішуванням [2,17].

Процес анаеробного метанового зброджування органічної речовини проходить в три етапи: гідроліз, кислотогенез та метаногенез (рисунок 1.5) [12]. Анаеробне зброджування – є першим етапом зброджування органічних речовин. Під час цього процесу органічні речовини шляхом гідролізу (біохімічного розщеплення) розкладаються з високомолекулярних сполук (білків, жирів, вуглеводів) до низькомолекулярних органічних сполук.

Другий етап перетворення складних органічних речовин відбувається за участі кислотоутворюючих бактерій. Таким чином, здійснюється розклад речовин з утворенням солей органічних кислот та власне органічних кислот. Побічними продуктами реакцій є спирти, CO_2 і H_2 , а потім H_2S та NH_3 .

Третім етапом процесу метанового зародження є перетворення органічних речовин у CO_2 та CH_4 . У подальшому перетворенні утворюється додаткова кількість CH_4 та H_2O з CO_2 та H_2 .

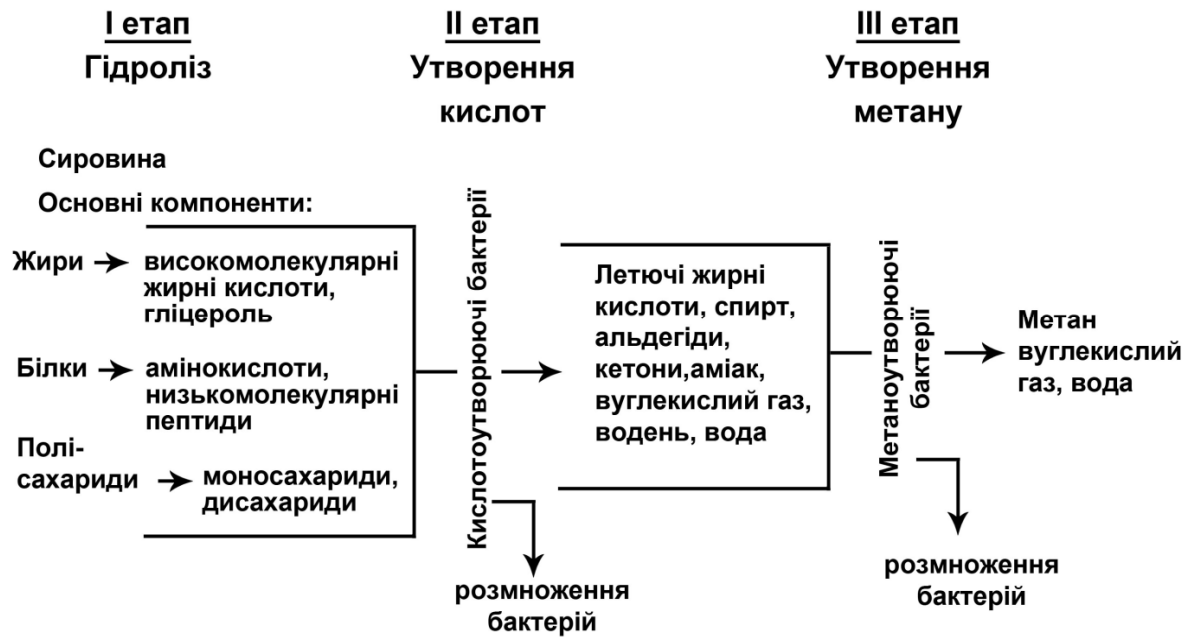
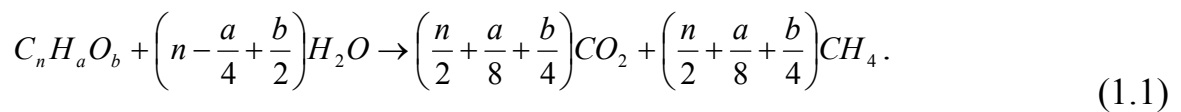


Рисунок 1.5 - Етапи анаеробного зброджування.

Так, в процесі розкладу органічної речовини у загальному вигляді, згідно рівняння, можна отримати кількісне значення кінцевих продуктів [2]:



Проте, в кожному конкретному випадку вихід біогазу залежить від складу вихідної органічної речовини, умов протікання процесу тощо.

Метановій ферментації можна піддати сировину будь-яких відходів, що містить у своєму складі органічні речовини, особливо це стосується відходів рослинництва та тваринництва, а також спеціально вирощені рослини. Компоненти органічної маси різняться за швидкістю розпаду та продуктивністю виробництва метану. Так, швидкість розпаду та вихід біогазу знаходяться у прямій залежності від вмісту в сировині:

- Білків, жирів (ліпідів) та вуглеводів;
- сухої речовини (СР) – загальної сухої завантаженої маси у ферментаційній камері;

- сухої органічної речовини (COP), яку піддають біодеградації - вказує кількість органічних речовин, які підлягають розкладу під час ферментації.

Усі субстрати дуже різняться між собою як за наявністю окремих компонентів, так і за хімічним складом (див. таблиця 1.2).

Таблиця 1.3 - Склад, властивості сировини та очікуваний вихід біогазу з різних субстратів [16]

Субстрат	Вміст сухої речовини (СР), %	Вміст сухої органічної речовини (COP), %	Азот заг., N	Амоній, NH ₄	Фос-фор заг., Р	Вихід біогазу		Вміст CH ₄ , об. %
			% СР			м ³ /т	м ³ /т COP	
Гнойові відходи								
Гній ВРХ (рідкий)	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60-80
Гній свиней (рідкий)	≈7	75-86	6-18	3-17	2-10	20-35	300-700	55-75
Гній ВРХ	≈25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	40-50	210-300	65
Гній свиней	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	55-65	270-450	60
Пташиний послід	≈32	63-80	5,4	0,39	-	70-80	250-450	50-70
Рослинні косубстрати								
Силос кукурудзи	20-35	85-95	1,1	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
Жито	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	≈55
Цукрові буряки	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Буряковий жом	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Бурячиння	16	75-80	0,2-0,4	-	0,7-0,9	≈70	550-600	54-55
Силос трави	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55

Розглянемо детально фактори впливу на процес метанового зброджування. Важливим фактором при добування біогазу є температура.

Метаболічна активність та репродуктивна здатність мікроорганізмів знаходяться у функціональній залежності від температури (див. рисунок 1.6) [2]. Крім цього температурний режим впливає на якість біогазу [9]. Вихід біогазу при температурах 58-61°C вище, ніж при 37-42°C, але відносний вміст метану в газі нижчий. Таким чином температура – один з найважливіших параметрів, який обумовлює швидкість процесу та продуктивність анаеробних реакторів.

Зазвичай розрізняють три температурні зони життєдіяльності бактерій: психрофільна, мезофільна та термофільна. Різні дослідники приймають різні границі цих зон, наприклад: мезофільний режим – 20-40°C, термофільний – 40-65°C [12]; мезофільний режим – 25-45°C, термофільний – 45-60°C [19]. Останнім часом виділяють термотолерантний режим 39-42°C [2].

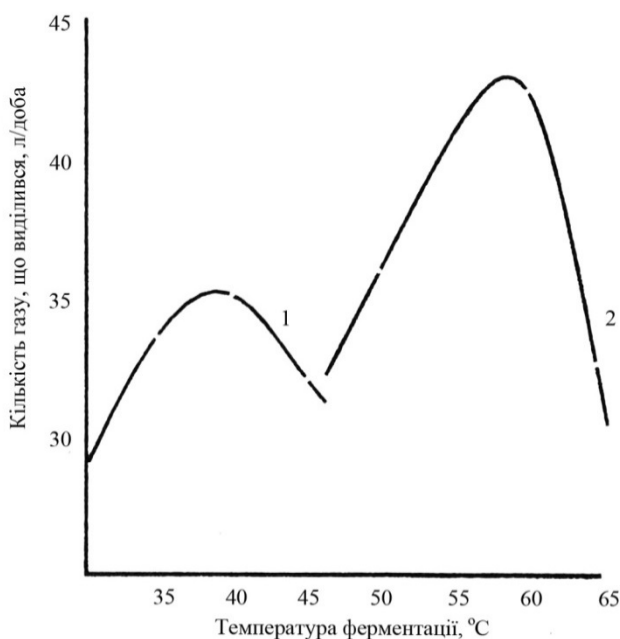


Рисунок 1.6 - Вплив температури на процес газовиділення [2]: 1 – в мезофільному режимі; 2 – в термофільному режимі при рН – 7,2; вміст сухої речовини – 6,5%.

Вміст кислот, рН, буферні властивості

Оскільки рівень відтворення та метаболічна активність метанових бактерій нижча, ніж кислотоутворюючих, при підвищенні кількості утворених

органічних речовин може утворитися надлишок летких кислот, які сприяють зниженню активності метанових бактерій, за умов зниження значення рН нижче позначки 6,5. [12]. При занадто великих дозах завантаження рН знижується, так як у субстраті підвищується концентрація ацетату [2]. Якщо дозу завантаження різко знизити, то значення рН стрімко зростає.

Оптимальні значення проведення процесу зброджування варіюються в наступних межах:

- рН 6,5 - 7,5;
- вміст летючих кислот (ЛЖК) – 600-1500 мг/л субстрату [2, 12].

На рисунку 1.7 представлена залежність рН гною свиней від температури [2]. З підвищенням температури величина показника рН зменшується.

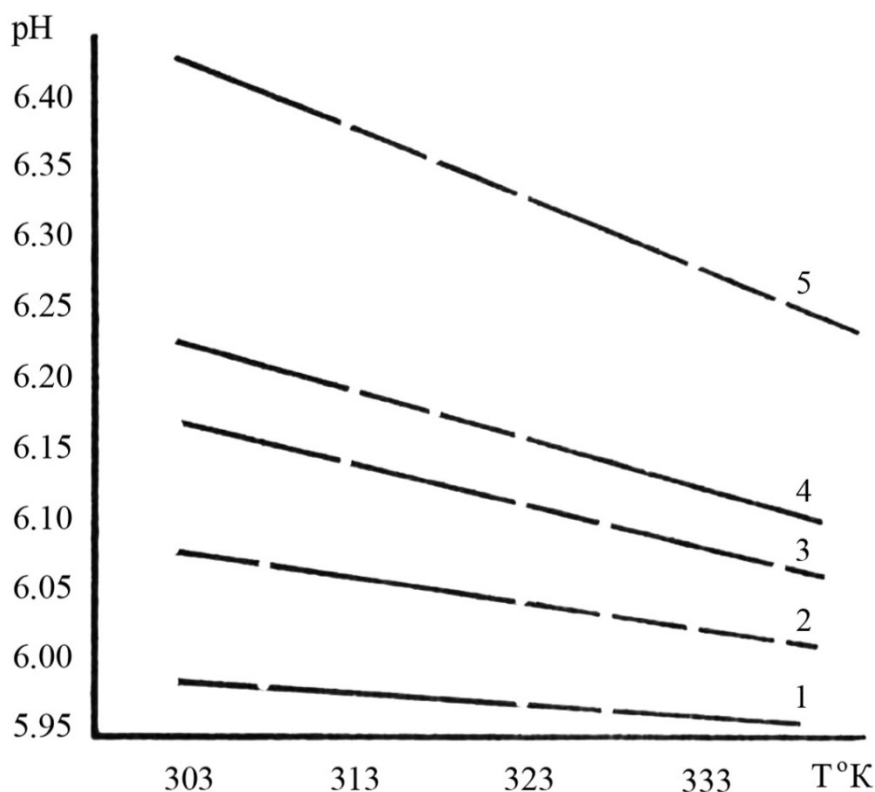


Рисунок 1.7 - Вплив температури на рН гною свиней при вологості гною:

1 – 83%; 2 – 88%; 3 – 93%; 4 – 96%; 5 – 99%.

На процес метанового зброджування впливає ряд речовин, причому деякі з них можуть надавати інгібіторну дію. До речовин, які у великих концентраціях перешкоджають життєдіяльності мікроорганізмів, належать, перш за все, лужні метали, нітрати, важкі метали та їх солі, органічні розчинники, аміак, антибіотики, сульфіді, детергенти. В таблиці 1.4 для деяких речовин приведені значення концентрацій, які призводять до суттєвого уповільнення метаноутворення [2].

Таблиця 1.4 - Граничні концентрації речовин, при яких спостерігається уповільнення метанового зброджування.

Речовина	Концентрація		Речовина	Концентрація мг/л субстрату
	мг/л субстрату	СР осаду, %		
Мідь	10	0,93	Кальцій	8000
Кадмій	-	1,08	Натрій	8000
Цинк	-	0,97	Калій	8000
Залізо	-	9,56	Магній	3000
Хром	-	2,2-2,6	Сульфіді	200
Кальцій	8000	-	Нітрати	50

Передумовою ефективного розмноження бактерій слугує поживне середовище, в якому повинні міститися вуглець і кисень забезпечуючи процес зброджування енергією; необхідність наявності водню, нітрогену, сірки та фосфору, лужних металів, заліза та мікроелементів зумовлена синтезом білку [2].

Співвідношення вуглецю та азоту в значній мірі визначають активність мікробної реакції. Сприятливими вважають умови при співвідношенні C:N = 10-16 [2].

Органічні відходи, тобто сировина, для метанового зброджування мають різні співвідношення C:N та відрізняються великим різноманіттям (таблиця 1.5) [2]. Для досягнення більш оптимального співвідношення C:N змішують різні субстрати та отримують більш високу продуктивність біогазу.

Таблиця 1.5 - Співвідношення C:N в сільськогосподарських відходах, які поступають на переробку

Відходи	C:N	Джерело інформації	Відходи	C:N	Джерело інформації
Гній свиней	4-5	[20]	Силосний сік	10	[6]
	10	[21]	Пташиний послід	7-15	[23, 22]
	9-15	[6]		9-15	[6]
	6,2-13,4	[22]		10,6	[21]
Гній ВРХ	18	[23, 22, 21]	Солома	4,8	[23, 22]
	9-15	[24]		150	[21]
Гній дійних корів	19,9	[23, 22, 21]	Рисові стебло	83,5	[23, 22]
	17,4	[21]	Сира тирса	208	[23, 22]
Гній коней	25	[23, 22]	Відходи льону	58	[23, 22]

Завантаження робочого об'єму є іншим фактором, що суттєво впливає на процес. Навантаження реактора повинне бути тим нижче, чим вища частка здатних до розкладу речовин в органічній масі, що в нього завантажуються, і чим більша в ній частка аміаку.

Доза навантаження – це величина свіжої речовини, що завантажуються в реактор, за добу [1]. На практиці добову дозу завантаження сировини в метантенк прийнято виражати наступним чином:

- по об'єму сировини, що завантажуються (D) у відсотках від об'єму споруди, об %:

$$D = \frac{O_{сз} \cdot 100\%}{O_{сб}}, \quad (1.4)$$

де $O_{сз}$ - об'єм сировини, що завантажується; $O_{сб}$ - об'єм сировини в біореакторі;

- по беззольній речовині ($D_б$) в кг на 1 м³ об'єму метантенка.

Між D та $D_б$ існує залежність, яка виражається наступним рівнянням:

$$D_б = D(100 - B) \cdot (100 - Z) / 1000, \quad (1.5)$$

де B - вологість сировини, %; Z - зольність сировини, %.

Вибір дози навантаження D залежить від багатьох параметрів, основними з яких є вологість сировини та температура метаногенеза. На рисунку 1.8 представлена залежність кількості біогазу, що виділився, від дози добового навантаження [2]. Як видно, крива виходу біогазу носить параболічний характер та має максимальні значення при дозі 10-15%.

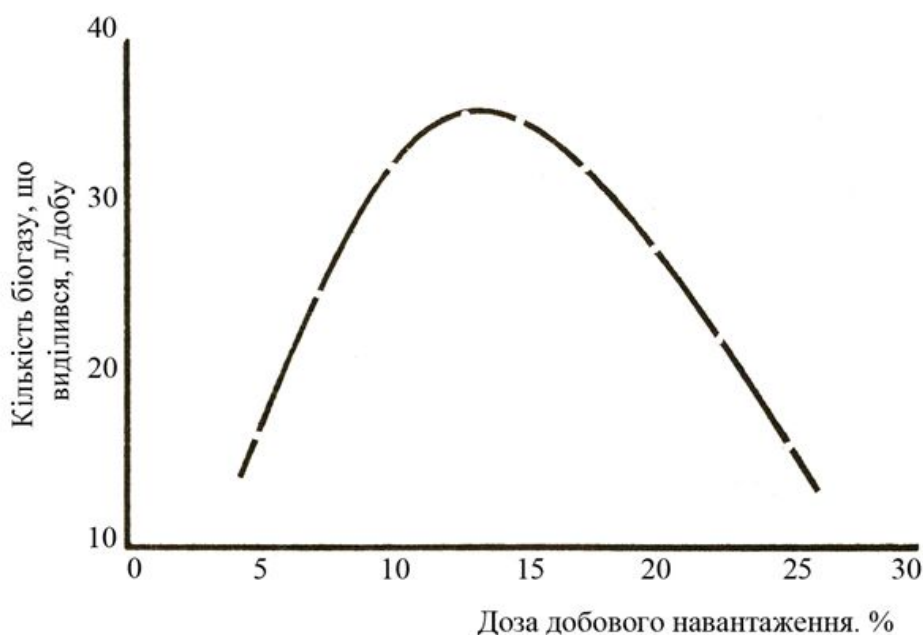


Рисунок 1.8 - Залежність кількості біогазу, що виділився, від добової дози завантаження метантенка при: температурі ферментації - 41°C; рН гною – 7,3 %; вмісту сухої речовини – 6,2%

Слід також враховувати, що зі збільшенням часу зброджування збільшується вміст CH_4 в загальному об'ємі газу, що виділився, та одночасно зменшується вміст CO_2 , що означає покращення якості отриманого газу (рисунок 1.9) [1].

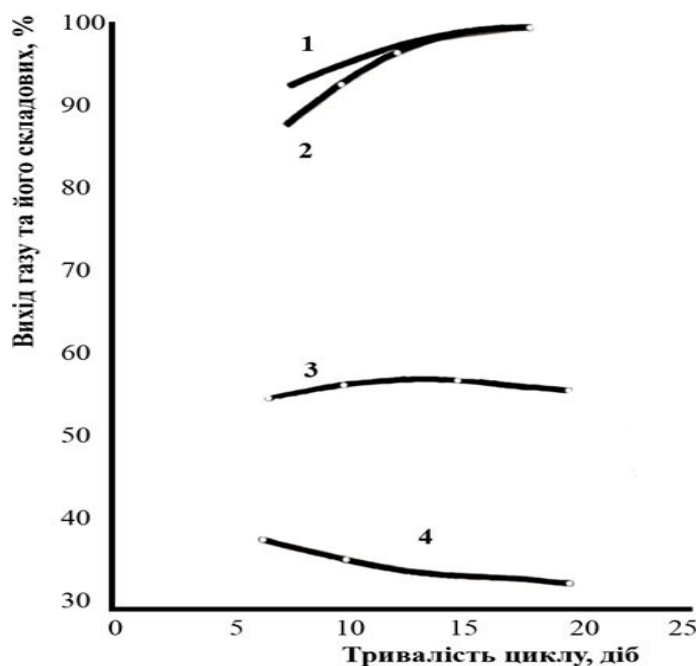


Рисунок 1.9 - Кількість та склад біогазу, що виділився при різній тривалості зброджування сировини: 1, 2 – біогаз, метан, відповідно; 3, 4 – метан, діоксид вуглецю, відповідно.

Процес перемішування забезпечує найефективніший контакт субстрату з бактеріями за рахунок постійного оновлення граничних поверхонь окремих фаз та зміни орієнтації, а також ускладнюється накопиченням кінцевих та проміжних продуктів процесу розкладу. Окрім забезпечення високої швидкості реакції, процес перемішування забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин в усьому об'ємі реактора, перешкоджає утворенню плаваючої кірки й осаду, забезпечує рівномірний розподіл температур та переміщення маси в реакторі [6].

Таким чином, в результаті повного розкладу органічної речовини утворюється газ, кількісний склад якого залежить від температури процесу зброджування та співвідношення $C : H : O : N$ у вихідних матеріалах [1].

При оптимальній температурі зброджування 34°C можливо отримати газ з екскрементів тварин середнього складу, який відповідає співвідношенню $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 2$ (таблиця 1.6) [6]. Об'ємна теплота згоряння (Q), температура займання та межа займання визначається переважно вмістом CH_4 , оскільки незначна кількість H_2S та H_2 суттєво на цей показник не впливають.

Можливість зрідження газової суміші може настати при критичних значеннях температури та тиску її окремих компонентів. Важливим при використанні біогазу є врахування різниці густин окремих компонентів.

Таблиця 1.6 - Склад та характеристика біогазу

Характеристика	Компоненти біогазу				Біогазова суміш (60% CH ₄ +40% CO ₂)
	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	
Об'ємна частка, %	55-70	27-44	<1	<3	100
Об'ємна теплота згоряння, МДж/м ³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Границя займання (вміст в повітрі), %	5-15	-	4-80	4-45	6-12
Температура займання, °C	65-750	-	585	-	650-750
Критичний тиск, МПа	4,7	7,5	1,3	8,9	7,5-8,9
Критична температура, °C	- 82,5	31,0	-	100,0	-2,5
Нормальна густина, г/л	0,72	1,93	0,09	1,54	1,2
Критична густина, г/л	102	468	31	349	320

Відповідно даним [25] при метановому зброджуванні біля 30-40% органічної речовини переходить в газоподібний стан, за даними [24] в найбільш сприятливих умовах розкладається до 70% органічної речовини. При цьому мало деградують лігнін, целюлоза, гемоцелюлоза.

Під час процесу зброджування утворюються гумінові кислоти, які підвищують водо утримуючі властивості ґрунтів та властивість накопичувати поживні речовини. Фосфор та калій практично повністю зберігаються у відферментованій масі в кількостях близьких до вихідної сировини. Що стосується азотистих сполук, то в ході складних біохімічних процесів метанового зброджування вони змінюються та їх кількість дещо зменшується в порівнянні з вихідним гноєм [1].

Оскільки ступінь розкладу органічної речовини, досягає 30-40%, то завдяки цьому шлам позбавлений запаху, який властивий вихідному субстрату. Гігієнічний ефект анаеробного зброджування обумовлюється перш за все тепловим впливом протягом певного проміжку часу. Для знешкодження

окремих збудників захворювань необхідно в кожному конкретному випадку визначити мінімальну температуру та мінімальну тривалість їх переробки при цій температурі. Таким чином відферментована маса завдяки наявності поживних елементів є високоефективними, знезараженими, органічними добривами, які позбавлені неприємних запахів [6].

Процес метанового зброджування є біохімічним та багатофакторним. На нього впливають якість сировини (склад, властивості, свіжість субстрату, розміри та концентрація в ньому твердих часток), температура, рН, наявність інгібіторів, співвідношення C:N, технологічні фактори (навантаження робочого об'єму, час зброджування та інтенсивність перемішування).

В результаті аналітичних досліджень вченими виявлено ряд закономірностей:

- чим більший вміст сухої органічної речовини, тим більший вихід біогазу при метановому зброджуванні субстрату;
- чим свіжіша сировина, тим більш вона придатна для метанового зброджування. При тривалому зберіганні суха органічна речовина розкладається, що призводить до зменшення значення рН;
- оптимальні значення рН лежать в межах 6,5-7,5;
- вихід біогазу при термофільному режимі більший, ніж при мезофільному, але відносний вміст метану в газі – нижчий;
- органічні відходи, тобто сировина для метанового зброджування, мають різні співвідношення C:N та відрізняються великим різноманіттям, не рідко вони бувають неоптимальними для процесу. Для досягнення більш оптимального співвідношення C:N змішують різні субстрати та отримують більш високу продукцію біогазу.
- найбільш сприятливі умови протікання процесу відповідають значенням співвідношення C:N = 10-16;
- при неперервному та квазінеперервному технологічному процесі зброджування найбільша інтенсивність розкладу відбувається в тому випадку,

якщо кількість органічної речовини, яке додається в одиницю часу до субстрату, що знаходиться в реакторі, відповідає кількості органічної речовини, що вже розклалася на даний момент часу;

- зі збільшенням часу зброджування збільшується вміст CH_4 в загальному об'ємі газу, що виділився, та одночасно зменшується вміст CO_2 , що означає покращення якості отриманого газу;

- перемішування сприяє метановому зброджуванню та підвищує його ефективність;

під час метанового зброджування гній дезодорується та знезаражується, при цьому не втрачаючи своїх властивостей як добрива.

Висновки

Знання вітчизняного та закордонного досвіду біогазових установок є особливо важливим для проектування БГУ. Провівши ретельний аналіз слід зазначити, що найбільш поширеним режимом роботи БГУ є мезофільний. Для сільськогосподарських ферм найчастіше використовуються БГУ із проточною схемою. Циліндрична форма надземного анаеробного біореактора для БГУ із проточною схемою є найбільш розповсюдженою. Для зазначеної вище конструкції біореактора тепло рекомендується підводити за рахунок теплової сорочки та змійовиків [18].

1.5 Визначення дослідної конструкції біореактора

У виробництві біогазу головним технічним елементом (вузлом) пристроїв є біореактор. До конструктивних особливостей анаеробних біореакторів належать обсяги та види перероблюваних відходів, необхідний ступінь деградації. Традиційна загальноприйнята класифікація анаеробних реакторів ґрунтується на формі метаногенів біомаси, зокрема їх макроструктур. Зважаючи на зазначене, існуючі конструкції можна

класифікувати на реактори з прикріпленою біомасою (біоплівкою) та взважено-седиментованою біомасою (мулом) [26].

На сьогодні у розвитку конструкцій анаеробних біореакторів відомо три покоління. До апаратів першого покоління належать установки де біомаса суспензована, найпримітивнішими з яких є реактори типу Imhoff, септики, анаеробні лагуни. Реактори другого покоління, без необхідності рециркуляції, забезпечують збереження біомаси всередині реактора. У ректорах третього покоління відбувається зрідження мікробного шару на синтетичному або природному носії.

Прикладом біореактора першого покоління з взважено-седиментованою біомасою можна назвати традиційний метантенк, контактний реактор, анаеробна лагуна, реактор з висхідним потоком рідини через шар анаеробного мулу - UASB, реактор з розширеним шаром гранульованого мулу, перегородчастий реактор (ABR) - EGSB [27].

Серед метантенків виділяють такі типи метаногенераторів: реактор-змішувач напівпроточного типу (CSTR) (рисунок 1.10), реактор-витискувач проточного типу (PFR) (рисунок 1.11).

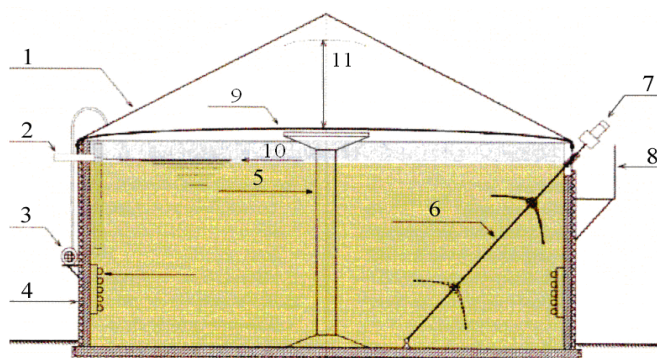


Рисунок 1.10 – Метантенк, що працює за принципом реактора-змішувача, вертикального типу. 1 – перекриття; 2 – перелив субстрату; 3 – насос подачі повітря; 4 – теплоізоляція метантенка; 5 – центральна колона; 6 – мішалка; 7 – привід мішалки; 8 – майданчик обслуговування; 9 – мембранний

газгольдер; 10 – рівень заповнення метантенка; 11 – висота підйому газгольдера; 12 – нагрівальні трубопроводи

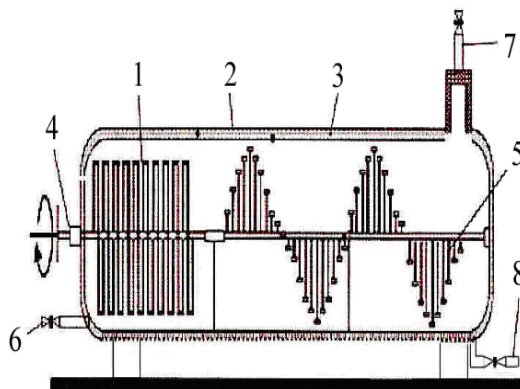


Рисунок 1.11 – Метантєнк, що працює за принципом реактора-випитискувача, горизонтального типу. 1 – нагрівач; 2 – сталний каркас; 3 – теплоізоляція метантенка; 4 – привід мішалки; 5 – змішувальні лопатки; 6 – подача свіжих субстратів; 7 – відведення біогазу; 8 – випуск зброженої маси

До реакторів з прикріпленою біомасою другого типу, відносяться реактор з псевдозрідженим шаром (AFB), біологічні фільтри, реактори з нисхідним потоком (DSFF-реактор), наприклад реактор-фільтр з нисхідним потоком (DFF), реактор-фільтр лагунного типу (BVF) тощо. Так, анаеробний біофільтр з висхідним потоком (AF) та гібридні реактори (наприклад, AF+UASB) поєднують у собі елементи обох типів реакторів [28].

Проте, властивості стічної води та різноманітність її складу не дозволяють однозначно порівняти за показниками якості та кількості різні конструкції анаеробних біореакторів. Виходячи із зазначеного, можна стверджувати, що будь-яка конструкція, серед описаних вище систем, може стати оптимальною зважаючи на якісно-кількісні характеристики стоку, кліматичних умов місцевості та соціально-економічних умов [26]. Характеристики основних анаеробних біореакторів наведено у таблиці 1.6

Таблиця 1.6 - Характеристики основних типів анаеробних біореакторів [26]

Покоління	Назва біореактора	Умовне позначення	Продуктивність по ХСК, $\text{кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{сут})$	Навантаження по ХСК, $\text{кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$	Час гідравлічного перебування	Ефективність очищення за ХСК, %
I	Анаеробна лагуна		0,1-1		10-60 діб	
	Метантенк	-	0,5-5	>10	>192-240 год	
	Контактний анаеробний реактор	ACR	3-8	>2	>24 год	
			3-12		7 діб	
			1-5,5		5-10 діб	
			0,5-9	2-10		
			1-6		24-120 год	70-95
	Перегородчастий анаеробний реактор	ABR	9-15		48-72 год	
			3-35		9-32 год	75-95
II	Анаеробний біофільтр з низхідним потоком	DSFF	10-12	>1-2	24 год	
			<40	1-20	10-50 год	
			4-8	9-15	53-91 год	65-85%
			5-15		24-120 год	
			1-15			80-90
	Анаеробний біофільтр з	AF	10-15	>0,3	>8-12	
			<40	1-20	10-50 год	

	висхідним потоком		0,1-15	2,5-24	12-48 год	75-90%
			5-15		24-120 год	
			1-15			80-90
			2-15	0,45-1,05	10-85 год	80-95
35						
III	Анаеробний біореактор з висхідним потоком рідини зі зваженим шаром мулу	UASB	10-25	>0,3	>2-3 год	
			<20	<40	>6 год	
			5-20		12-48 год	
			1-15	7-20		
			2-30		2-72 год	80-95
	Анаеробний біореактор з розширеним шаром активного мулу	ESGB	30-40	>0,3	>1-2 год	
			1-18			80-90
			2-50		0,5-24	70-80
	Анаеробний біореактор з псевдо зрідженим шаром активного мулу	FBR	30-40	>0,3	>0,5 год	
			2-70 (120*)		2-24 год	
			20-40	30-40	12-24 год	
			2-50		1-4 год	80-90

* значення отримане при експериментальному дослідженні

На основі проведеного аналізу запропонована конструкція біореактора-витискувача проточного типу. Принципова схема реактора зображена на рисунку 1.12. Метантенк представляє собою горизонтальний циліндричний апарат, що складається з корпусу, сорочки, приводу, підшипникового вузла з ущільненнями, штуцером завантаження свіжого субстрату, для вивантаження відпрацьованого субстрату, для відведення біогазу.

1.6 Висновки

1. Метаногени виявляють значну чутливість до змін робочих параметрів. На процес виробництва біогазу впливають якість сировини, температура, рН, наявність інгібіторів, співвідношення C:N, технологічні фактори, найкращим режимом роботи вважається мезофільний, але на продуктивність впливає постійність температур в об'ємі ректора.

2. На сьогоднішній день відомі теоретичні і експериментальні дані про механізми впливу перемішування в біореакторах, проте відсутні дані щодо впливу процесу перемішування для нових перемішуючих пристроїв.

3. Складність фізико-хімічних процесів, які протікають в біореакторі, визначають необхідність побудови і дослідження математичної моделі для процесу перемішування в реакторі з нетиповою мішалкою.

4. На основі проведеного аналізу запропонована конструкція анаеробного реактора. Метантенк представляє собою горизонтальний циліндричний апарат, що складається з корпусу, сорочки, приводу, підшипникового вузла з ущільненнями, штуцером завантаження свіжого субстрату, для вивантаження відпрацьованого субстрату, для відведення біогазу.

1.7 Постановка задач дослідження

Задачі дослідження в даній роботі полягають у наступному:

1. Дослідження гідродинаміки і теплообміну для перемішуючого пристрою нової конструкції представленої чотирма секціями, виготовленими з вертикальних трубок і горизонтальних трубок, в які подається теплоносієм через нерухому трубку заведену в порожнистий вал з отворами під трубки і пробками, переточними патрубками і кільцями для ущільнення
2. Дослідження потужності що витрачається при перемішуванні субстрату перемішуючим пристроєм нової конструкції.
3. Дослідження ефективності теплопереносу від горизонтальних трубок перемішуючого пристрою, що обертаються з різною частотою обертання.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

У метантенку для зброджування відходів тваринництва конструкція перемішуючого пристрою передбачає підведення теплоносія у трубки перемішуючого пристрою, що забезпечує високу інтенсивність тепло переносу і рівномірність розподілення температур у всьому об'ємі апарата (рисунок 2.1).

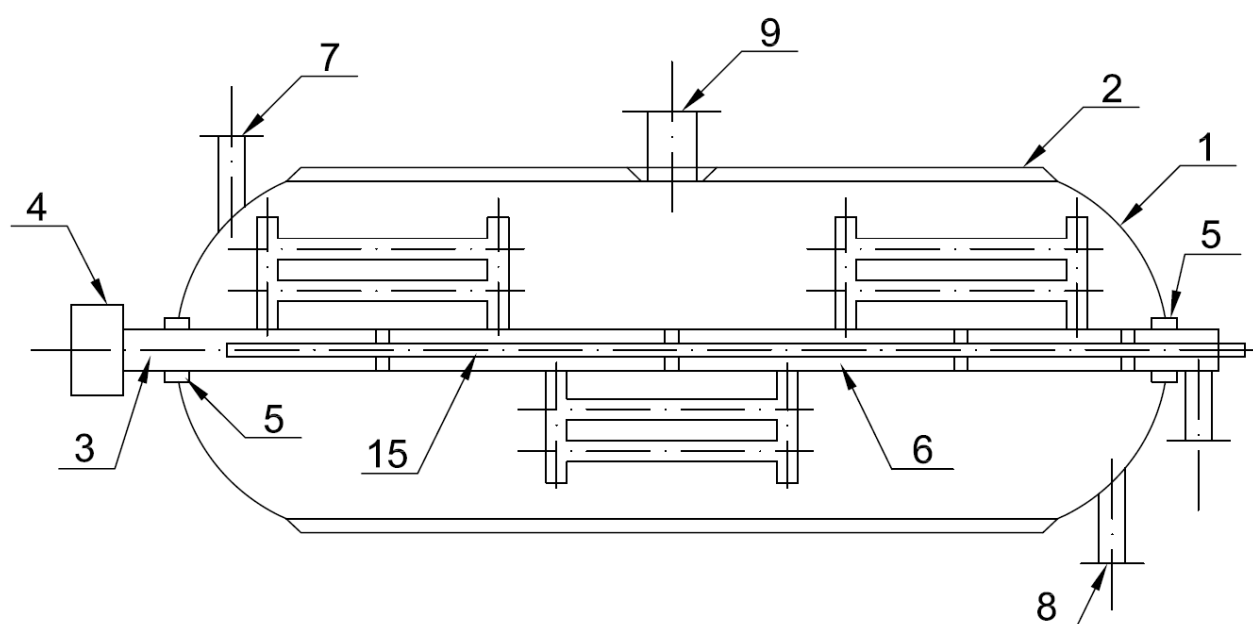


Рис 2.1 – Схема запропонованого метантенка в поздовжньому перерізі

У реакторну зону корпуса 1 через штуцер 7 подається субстрат, що являє собою суміш гною з водою в співвідношенні 1:1 з початковою температурою 60-70 С. Субстрат перемішується перемішуючим пристроєм 6 в кожну з п'яти секцій якого подається теплоносіє. Для розподілення свіжого теплоносія, що поступає на обігрів маси в метантенк по секціям перемішуючого пристрою 6 на нерухомій трубі 15, що розміщена в порожнистому валу 3 встановленому в підшипникових вузлах з ущільненнями 5 закріпленні пробки 12.

Для попереджування змішування свіжого і відпрацьованого теплоносіїв на пробках 12 встановлені ущільнюючі кільця 14 і переточні патрубки 13, що

забезпечують відведення відпрацьованого теплоносія, який відводиться з секцій перемішуючого пристрою.

При обертанні порожнистого валу 3, вирівнювання температур в метантенку забезпечується теплообміном в умовах вимушеної конвекції при поперечному обтіканні масою горизонтальних 11 і вертикальних 10 трубок і інтенсивним перемішуванням маси секціями перемішуючого пристрою 6.

Для дослідження ефективності теплопереносу перемішуючим пристроєм розглянемо особливості руху середовища в метантенку в прилеглому шарі біля горизонтальних трубок, що обертаються з швидкістю.

2.1 Дослідження енергетичних витрат при перемішуванні.

При перемішуванні рідин споживана мішалками потужність залежить від властивостей рідини, швидкості обертання та конструкції мішалки.

При обертанні перемішуючого пристрою середовище в ферментері здійснює поперечне обтікання горизонтальних трубок.

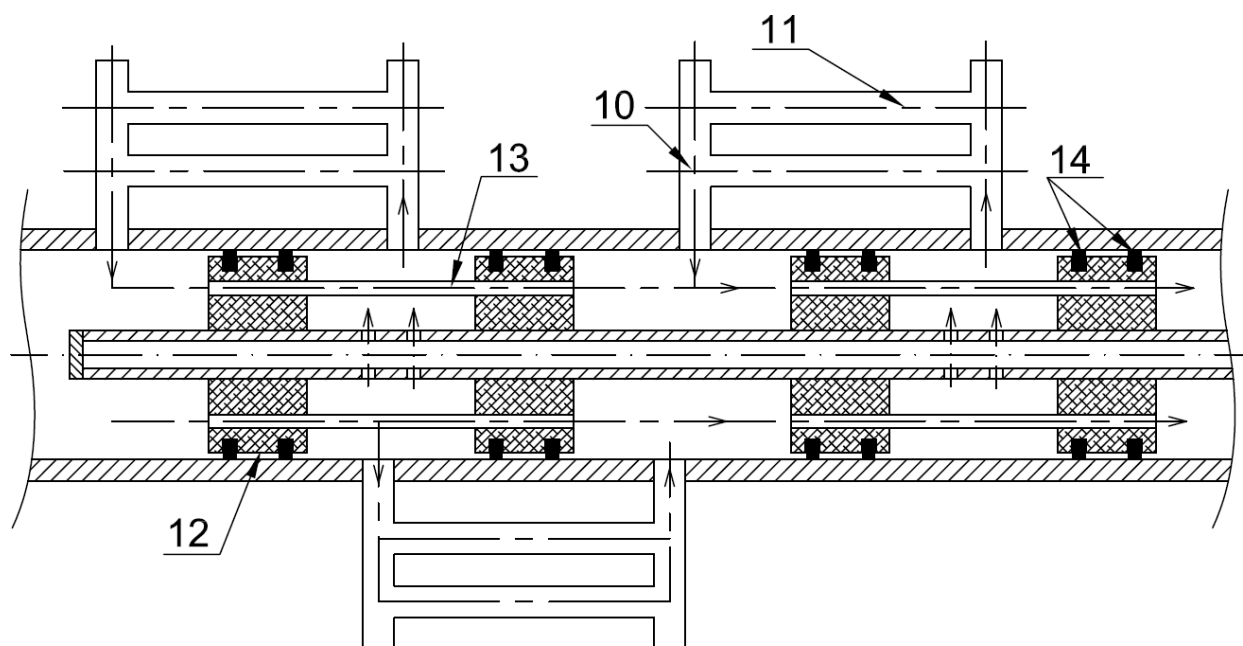


Рисунок 2.2 - Схема потоків теплоносія

Потужність перемішуючого пристрою витрачається на подолання опору середовища рухові трубок. Величину сили необхідної для подолання опору середовища рухові горизонтальної труби для кожної трубки можна знайти за формулою:

$$P = c \frac{\rho \cdot U^2}{2} \cdot F, \quad (2.1)$$

c - коефіцієнт опору рухові трубки;

ρ - густина середовища, кг/м^3 ;

U - колова швидкість труби, м/с .

F – площа проекції трубки на площину перпендикулярну вектору колової швидкості, м^2 .

Коефіцієнт опору трубки залежить від критерію Рейнольдця.

Залежність коефіцієнту опору від критерію Рейнольдця наведена в [27].

(2.2)

$$F = d_{\text{зовн}} \times L_{\text{тр}}$$

$$F = 0,048 \times 2,5 = 0,12 \text{ м}^2$$

$$\text{Для } 6 \cdot 10^2 < Re < 6 \cdot 10^3 \quad c = 1$$

$$8 \cdot 10^3 < Re < 2 \cdot 10^5 \quad c = 1,1$$

$$Re > 2 \cdot 10^5 \quad c = 0,3 - 0,4$$

Величина сили необхідної для подолання опору середовища рухової горизонтальної труби для кожної трубки при частоті обертів мішалки $n = 0,011$ ($0,05; 0,1$) с^{-1} :

$$P = 0,4 \times \frac{1500 \times 0,260^2}{2} \times 0,12 = 2,4 \text{ Н}$$

$$P = 0,4 \times \frac{1500 \times 1,181^2}{2} \times 0,12 = 50,2 \text{ Н}$$

$$P = 0,4 \times \frac{1500 \times 1,928^2}{2} \times 0,12 = 133,8 \text{ Н}$$

Крутний момент та потужність, що необхідна для подолання опору середовища визначаються за формулами:

$$M_{кр} = P \cdot R \quad (2.3)$$

$$M_{кр} = 133,8 \times 3,76 = 500 \text{ Нм}$$

$$N = M_{кр} \cdot \omega \quad (2.4)$$

ω , рад/с – кутова швидкість обертання валу перемішуючого пристрою, що визначається за формулою:

$$\omega = 2\pi n$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 0,011 = 0,069$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 0,05 = 0,314$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 0,1 = 0,628$$

$$N = 503 \times 0,628 = 315 \text{ Вт}$$

Результати розрахунку крутного моменту та потужності, що необхідна для подолання опору середовища рухові трубок перемішуючого пристрою заносимо в таблиці.

Таблиця 2.1

Позначення радіуса труби	Радіус труби обертання, м	Крутний момент $M_{кр}$ в Нм, при частоті обертів мішалки n		
		0,011	0,05	0,1
R_1	1,0	2,4	50,2	133,8
R_2	1,69	4,03	84,3	224,8
R_3	2,38	5,71	119,5	318,4
R_4	3,070	7,37	154,1	410,8
R_5	3,76	9	188,8	503

Таблиця 2.2

Позначення радіуса труби	Радіус труби обертання, м	Потужність N в $Вт$, що необхідна для подолання опору середовища рухові трубок перемішуючого пристрою при частоті обертів мішалки n		
		0,011	0,05	0,1
R_1	1,0	0,166	15,8	84,02
R_2	1,69	0,278	26,5	141,2
R_3	2,38	0,394	37,5	200
R_4	3,070	0,509	48,4	258
R_5	3,76	0,621	59,3	315,9

Сумарна потужність, яка витрачається на подолання опору середовища перемішуючим пристроєм становить:

$$n=0,011c^{-1} \quad N=4 \times 41,97=167,88 \text{ Вт},$$

$$n=0,05c^{-1} \quad N=4 \times 187,5=750 \text{ Вт},$$

$$n=0,1c^{-1} \quad N=4 \times 999,12=3996,48 \text{ Вт}.$$

Максимальна потужність, що необхідна для подолання опору середовища рухові трубок перемішуючого пристрою при частоті обертів мішалки $n=0,011c^{-1}$ - 167,88 Вт $n=0,05c^{-1}$ – 750 Вт, $n=0,1c^{-1}$ -3996,48 Вт.

2.2 Дослідження ефективності теплопереносу від горизонтальних трубок, що обертаються зі швидкістю $n=0,011c^{-1}$, $n=0,05c^{-1}$, $n=0,1c^{-1}$.

При обертанні валу перемішуючого пристрою середовище в ферментері в поперечному напрямку обтікає горизонтальні трубки з теплоносієм. Приймаємо припущення, що швидкість руху рідини біля поверхні труби дорівнює коловій швидкості труби, визначеної за

виразом:

$$U = \omega \cdot R \quad (2.5)$$

ω – кутова швидкість обертання валу перемішуючого пристрою,

R - радіус осі труби відносно осі обертання.

Розрахуємо колову швидкість теплоносія в трубі при частоті обертів мішалки $n = 0,011$ (0,05; 0,1) с^{-1} . Записавши вираз (2.9) у вигляді та розрахуємо:

$$U = \omega \cdot R = 2\pi n R = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.011 \cdot 1 = 0.069 \text{ с.}$$

Решту розрахунків розраховуємо аналогічно, результати заносимо до таблиці.

Таблиця 2.3

Позначення радіуса труби	Радіус труби обертання, м	Колова швидкість труби U , при частоті обертів мішалки n		
		0,011	0,05	0,1
R_1	1,0	0,069	0,314	0,628
R_2	1,69	0,117	0,531	1,061
R_3	2,38	0,164	0,747	1,495
R_4	3,070	0,212	0,964	1,928
R_5	3,76	0,260	1,181	2,361

Критерій Прандтля визначаємо за формулою, де $c_p = 4190 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ – питома теплоємність рідкого гною (близька до теплоємності води); $\mu = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ – динамічна в'язкість рідкого субстрату (близька до в'язкості води); $\lambda = 0,62 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ - теплопровідність рідкого субстрату (близька до теплопровідності води).

$$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda} = \frac{4190 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}}{0,62} = 6,08. \quad (2.6)$$

Критерій Рейнольдця розраховуємо за формулою:

$$Re = \frac{U \times 2R}{\nu}, \quad (2.7)$$

де $\nu = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідкого гною.

Критерій Рейнольдса при $n_1 = 0,011$

$$Re = \frac{0,164 \times 2 \times 2,38}{0,6 \times 10^{-6}} = 1,301 \cdot 10^6$$

Так як $Re \geq 10^3$ тоді, для визначення коефіцієнту тепловіддачі можна використати рівняння:

$$\begin{aligned} Nu &= 0,28 Re^{0,6} Pr^{0,36} = \\ &= 0,28 \cdot (1,301 \cdot 10^6)^{0,6} 6,08^{0,36} = 2,5 \cdot 10^3. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Знаючи критерій Нусельта, визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α за формулою :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{Nu \times \lambda}{2R} \\ \alpha_1 &= \frac{2,5 \cdot 10^3 \times 0,62}{1} = 1550 \left(\frac{Bm \cdot m^2}{K} \right); \end{aligned} \quad (2.9)$$

Критерій Рейнольдса при $n_1 = 0,05$

$$Re = \frac{0,747 \times 2 \times 2,38}{0,6 \times 10^{-6}} = 5,926 \cdot 10^6$$

Так як $Re \geq 10^3$ тоді, для визначення коефіцієнту тепловіддачі можна використати рівняння:

$$Nu = 0,28 Re^{0,6} Pr^{0,36} =$$

$$= 0,28 \cdot (5,926 \cdot 10^6)^{0,6} 6,08^{0,36} = 6,209 \cdot 10^3.$$

Знаючи критерій Нусельта, визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α за формулою (2.13). Результати занесені до таблиці 2.2.

Критерій Рейнольдса при $n_1 = 0,1$

$$Re = \frac{1,473 \times 2 \times 2,38}{0,6 \times 10^{-6}} = 1,186 \cdot 10^7$$

Так як $Re \geq 10^3$ тоді, для визначення коефіцієнту тепловіддачі можна використати рівняння:

$$Nu = 0,28 Re^{0,6} Pr^{0,36} =$$

$$= 0,28 \cdot (1,186 \cdot 10^6)^{0,6} 6,08^{0,36} = 9,415 \cdot 10^3.$$

Знаючи критерій Нусельта, визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α за формулою (2.9). Результати занесені до таблиці 2.2.

Таблиця 2.4

Позначення радіуса труби	Радіус труби обертання, м	коефіцієнт тепловіддачі α при коловій швидкості теплоносія в трубі U		
		$2,5 \cdot 10^3$	$6,209 \cdot 10^3$	$9,415 \cdot 10^3$ 1
R_1	1,0	1550	3900	5837
R_2	1,69	917,16	2308	3454
R_3	2,38	651,26	1639	2453
R_4	3,070	504,886	1270	1901
R_5	3,76	412,234	1037	1552

2.3 Результати чисельного експерименту

Отримані формули дозволяють дослідити залежність коефіцієнта тепловіддачі (див. рисунок 2.3).

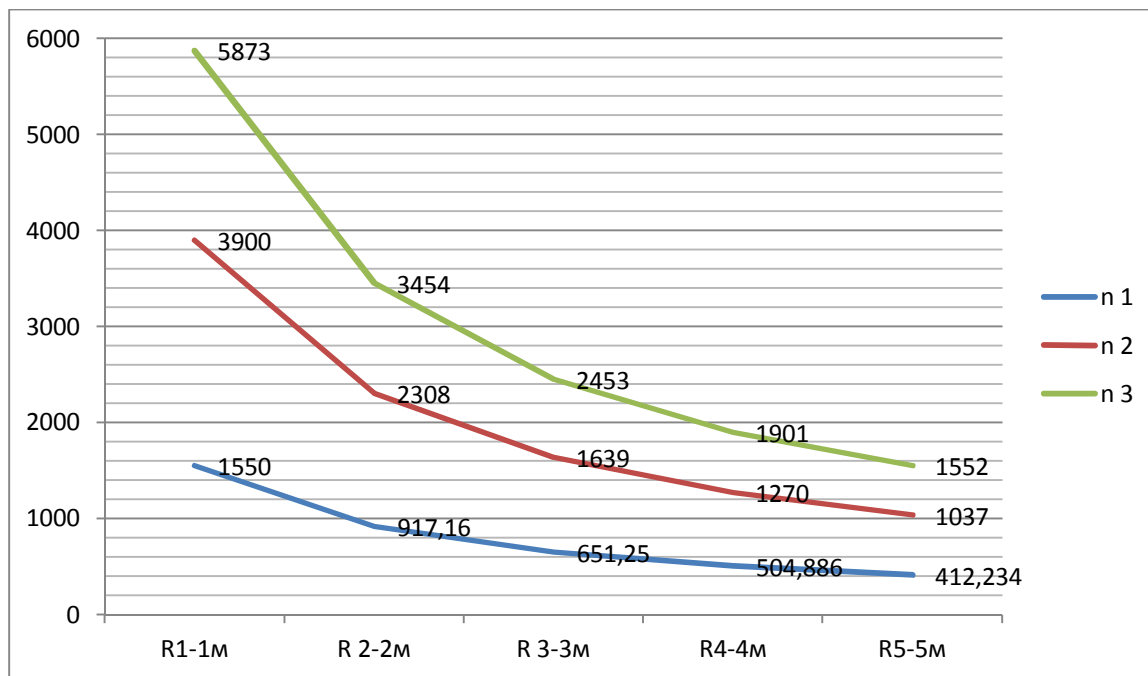


Рисунок 2.2 – Графік залежності коефіцієнта тепловіддачі від горизонтальних трубок при різних числах обертів перемішуючого пристрою

Аналізуючи графік можна зробити висновок, що при числах обертів мішалки максимальне значення коефіцієнта тепловіддачі досягається на поверхні труби найбільш віддаленої від осі обертання. Але середній коефіцієнт тепловіддачі при числі обертів $n = 0,011 \text{ c}^{-1}$ становить $807,108 \left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{м}^2}{\text{К}} \right)$, $n = 0,05 \text{ c}^{-1}$ становить $2030,8 \left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{м}^2}{\text{К}} \right)$, $n = 0,1 \text{ c}^{-1}$ становить $3039,4 \left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{м}^2}{\text{К}} \right)$.

Ці значення коефіцієнта тепловіддачі свідчать, що конструкція перемішуючого пристрою забезпечує інтенсивний теплообмін між теплоносієм перемішуючого пристрою і середовищем у ферментері.

2.4 Висновки

На основі аналізу руху рідини біля горизонтальної трубки перемішуючого пристрою розроблена методика визначення потужності, яка витрачається перемішуючим пристроєм на подолання опору середовища рухові трубок.

Проведений розрахунок потужності, яка витрачається перемішуючим пристроєм на подолання опору середовища рухові трубок. Потужність становить при частоті обертів мішалки $n = 0,011 \text{ c}^{-1}$ - 167,88 Вт, $n = 0,05 \text{ c}^{-1}$ - 750 Вт, $n = 0,1 \text{ c}^{-1}$ - 3996,48 Вт.

Виконаний числовий аналіз процесу тепловіддачі від поверхні горизонтальних трубок перемішуючого пристрою до середовища в ферментері.

Числовий аналіз показує, що конструкція перемішуючого пристрою забезпечує інтенсивний теплообмін між теплоносієм перемішуючого пристрою і середовищем, що сприяє рівномірному розподіленню температур в реакторі.

3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ АНАЕРОБНОГО РЕАКТОРА

Для наглядності конструктивних особливостей спроектованого анаеробного реактора для виробництва біогазу було розроблено 3D-модель апарату, яка була спроектована та візуалізована за допомогою пакету програм Autodesk AutoCAD. Модель показана на наступних рисунках:

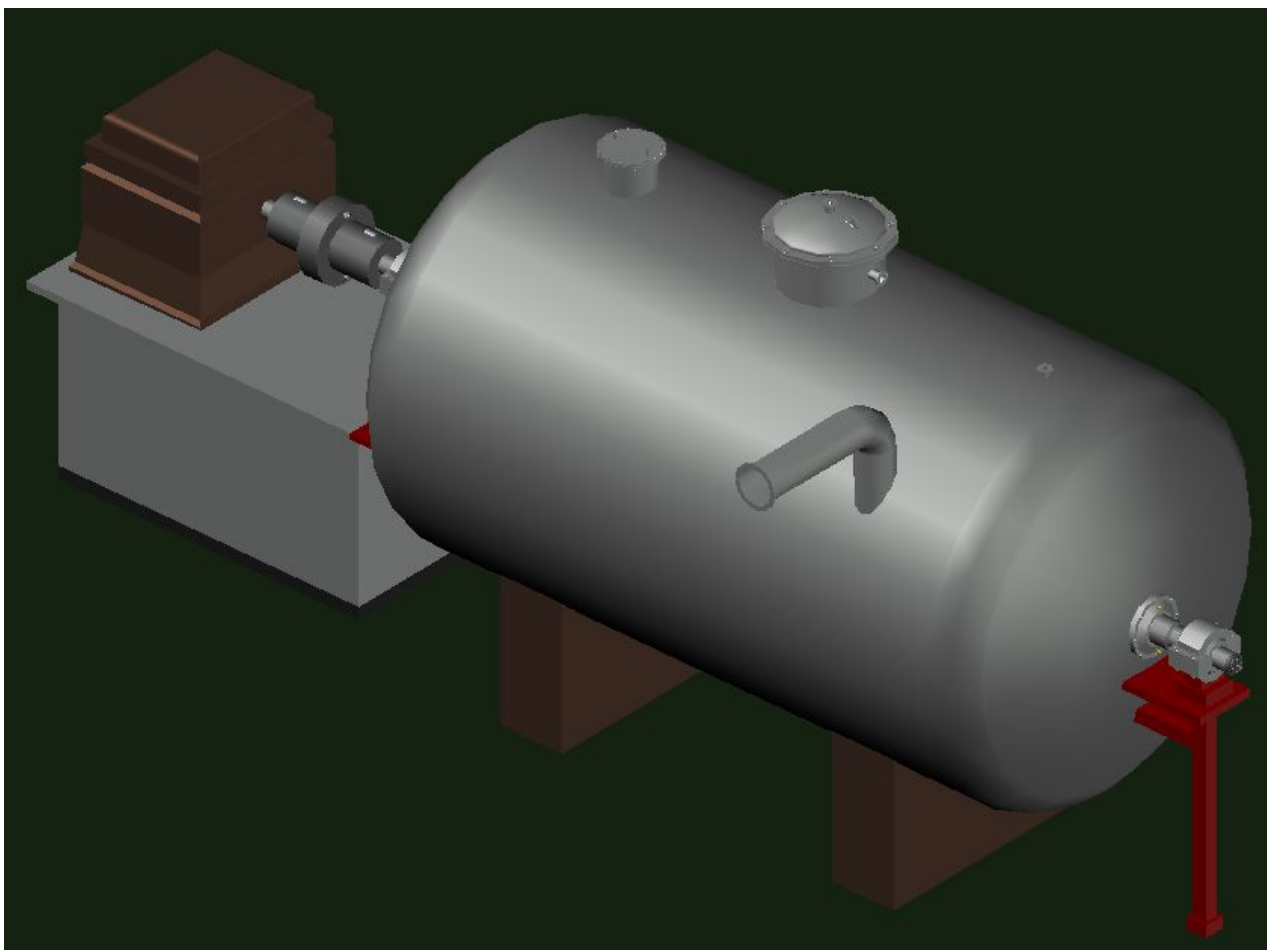


Рисунок 3.1 - 3D-модель анаеробного реактора. Вигляд 1

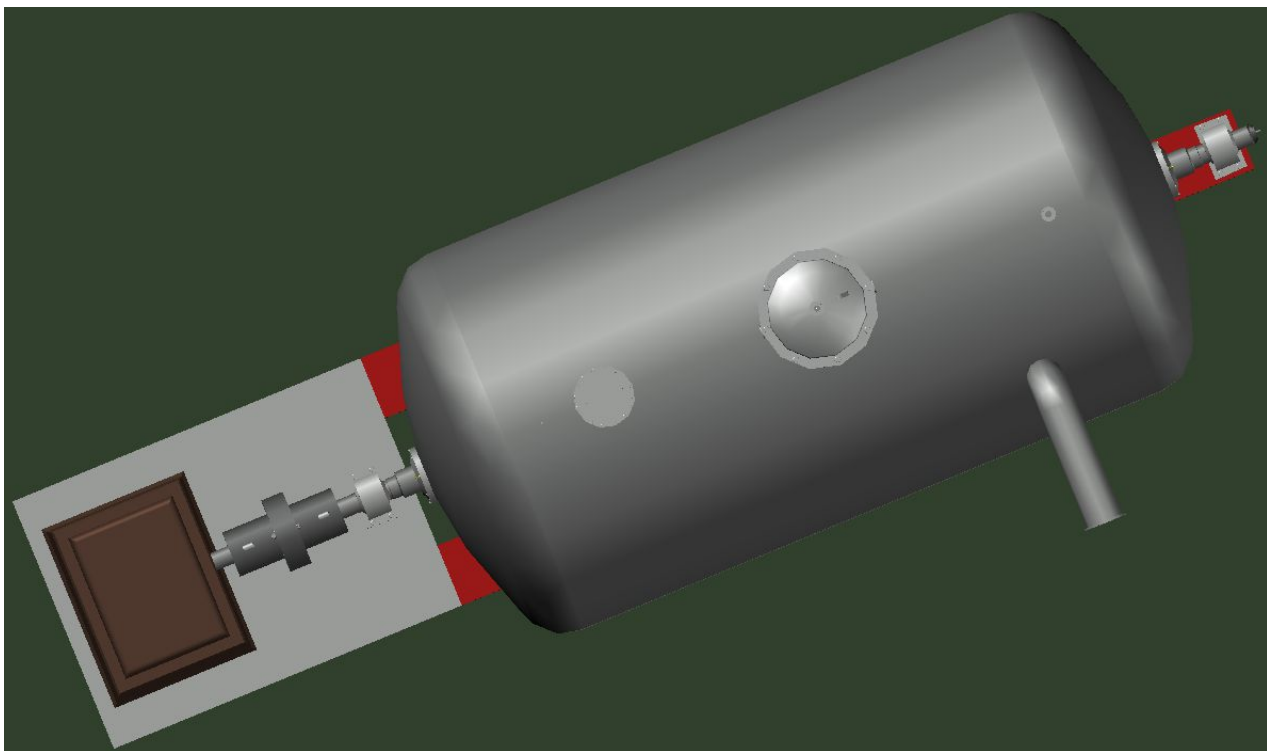


Рисунок 3.2 - 3D-модель анаэробного реактора. Вид 2

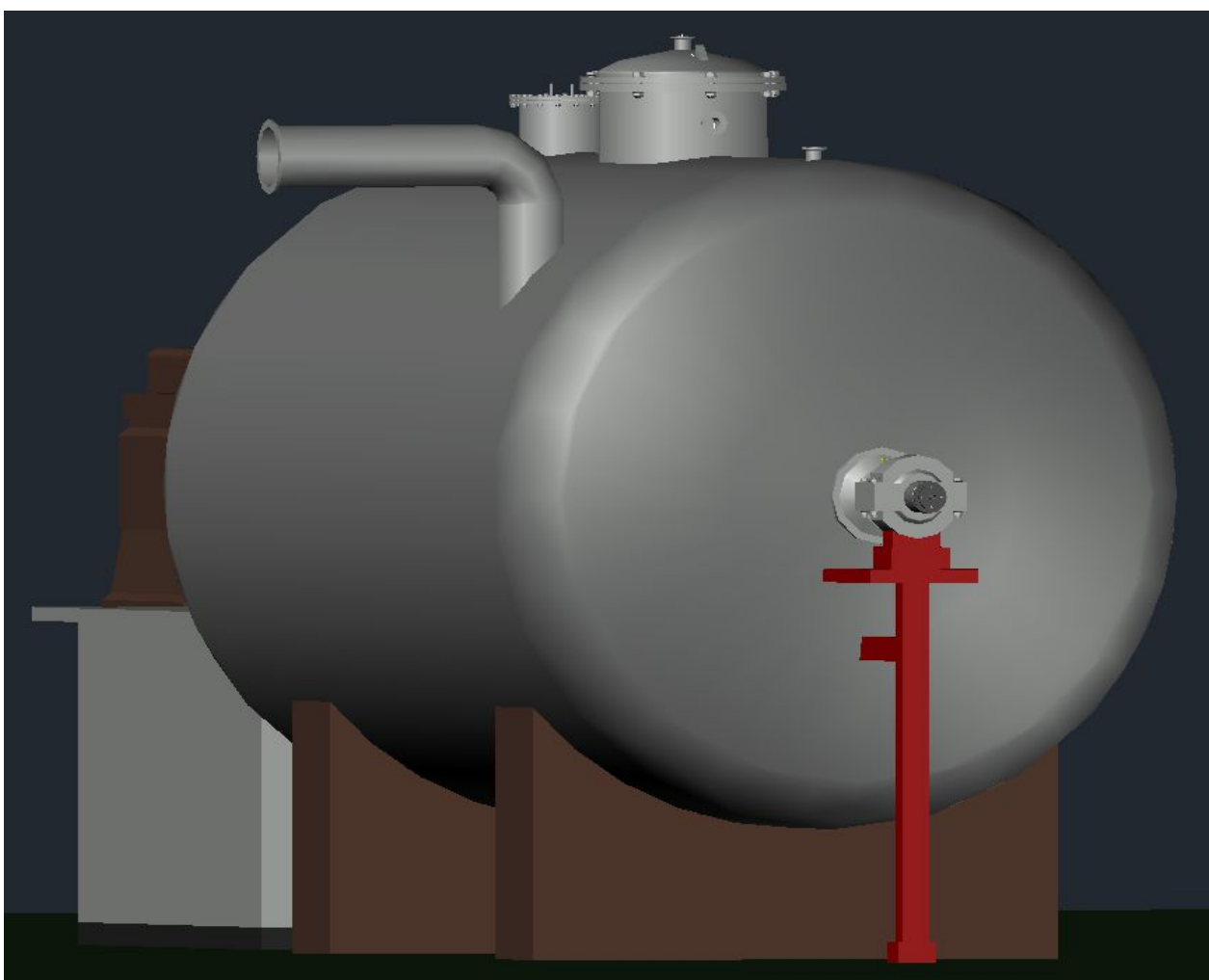


Рисунок 3.3 - 3D- модель анаэробного реактора. Вид 3

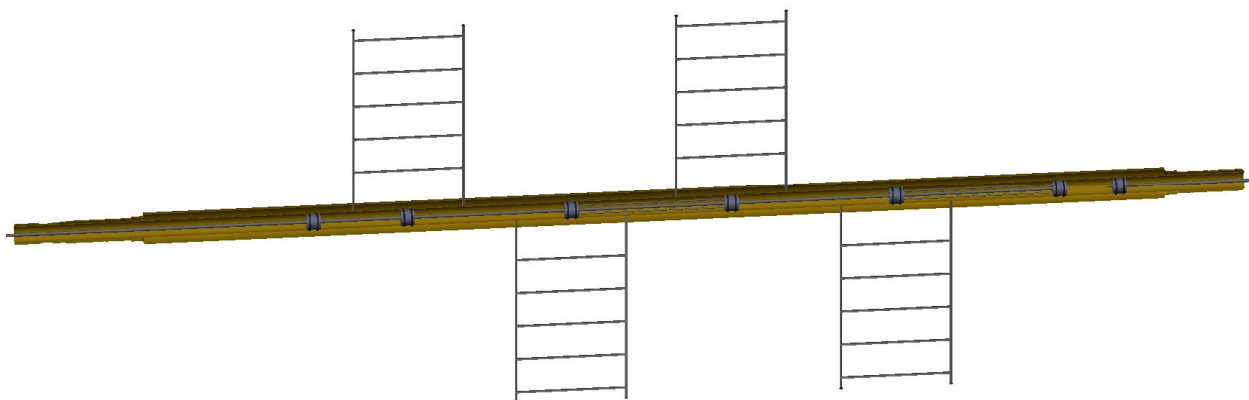


Рисунок 3.4 - 3D-модель вала.

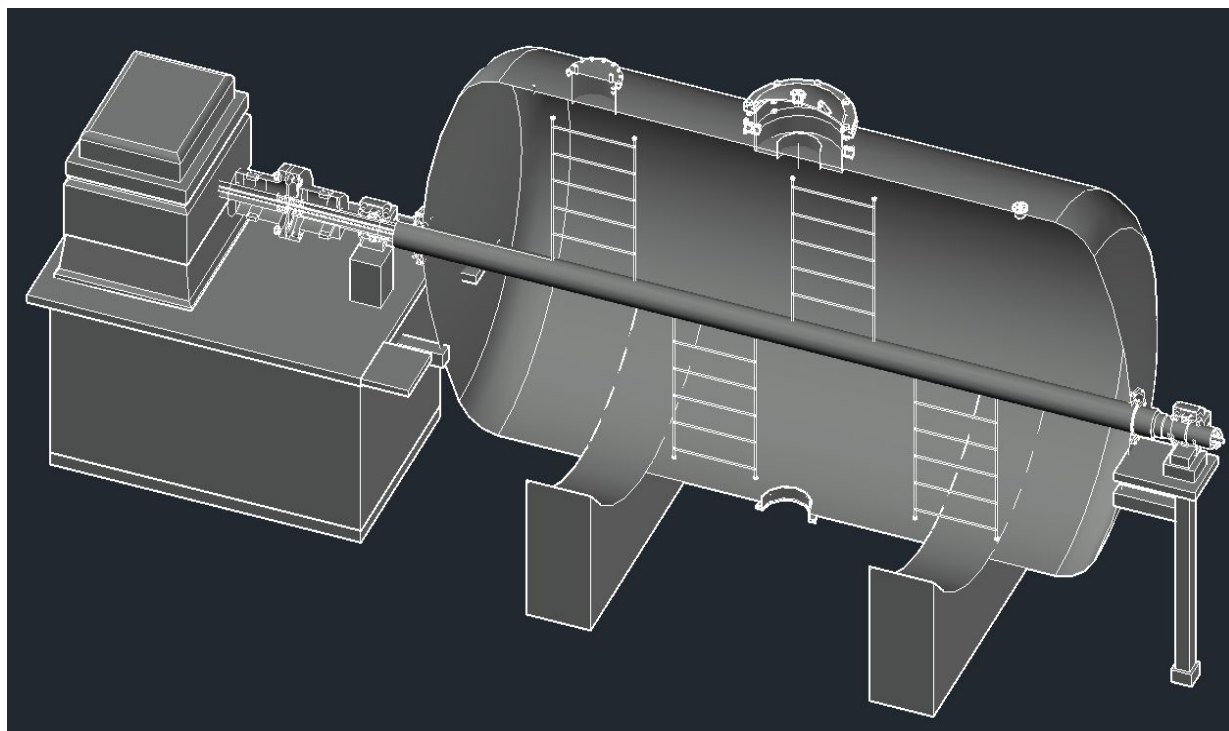


Рисунок 3.5 - 3D-модель анаэробного реактора. Разрез 1

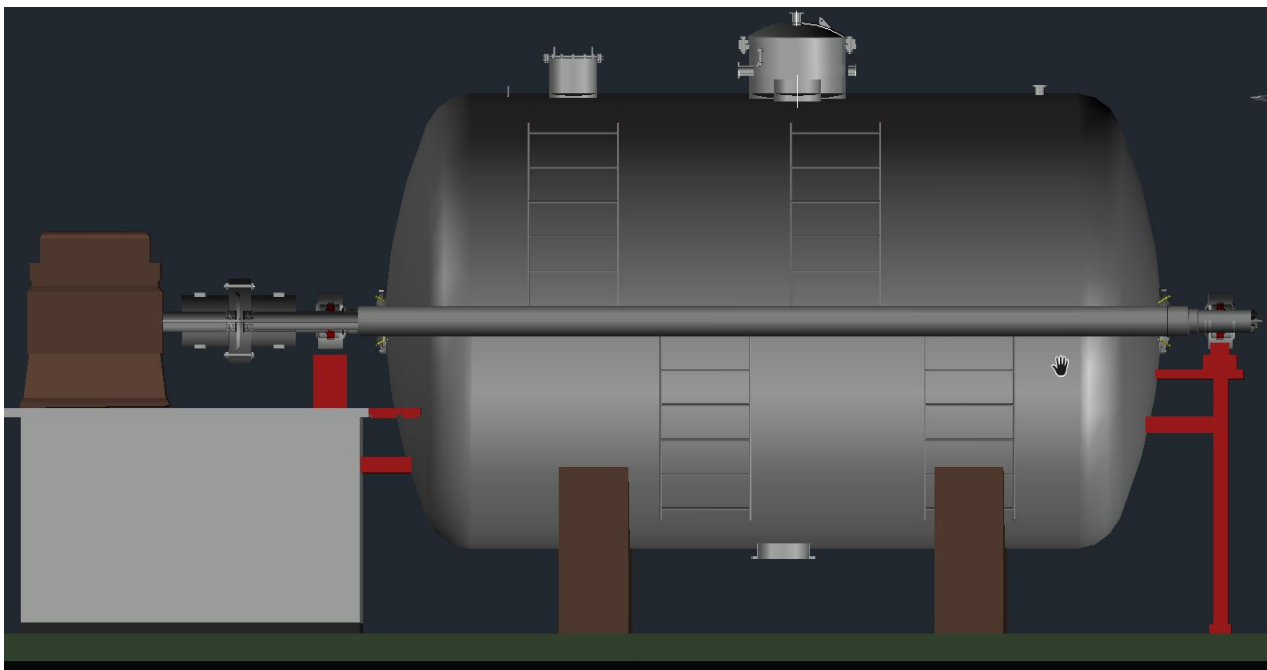


Рисунок 3.6 - 3D-модель анаеробного реактора. Розріз 2

Спроектувавши дану 3D-модель анаеробного реактора для виробництва біогазу, можна наглядно оцінити його особливості конструкції, основні складальні одиниці та місця з'єднань трубопроводів.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

4.1 Опис технологічного процесу синтезу біогазу при переробці гною

Біогазова установка проточного типу встановлюється на свинофермі для переробки гною свиней з наступним отриманням біогазу. Побічним продуктом є органічне добриво.

В проточній системі необхідну кількість біомаси завантажують щоденно, видаляючи таку ж кількість збродженої маси [18]. Постійний об'єм біомаси розраховується у відповідності з заданим часом перебування субстрату в метантенку.

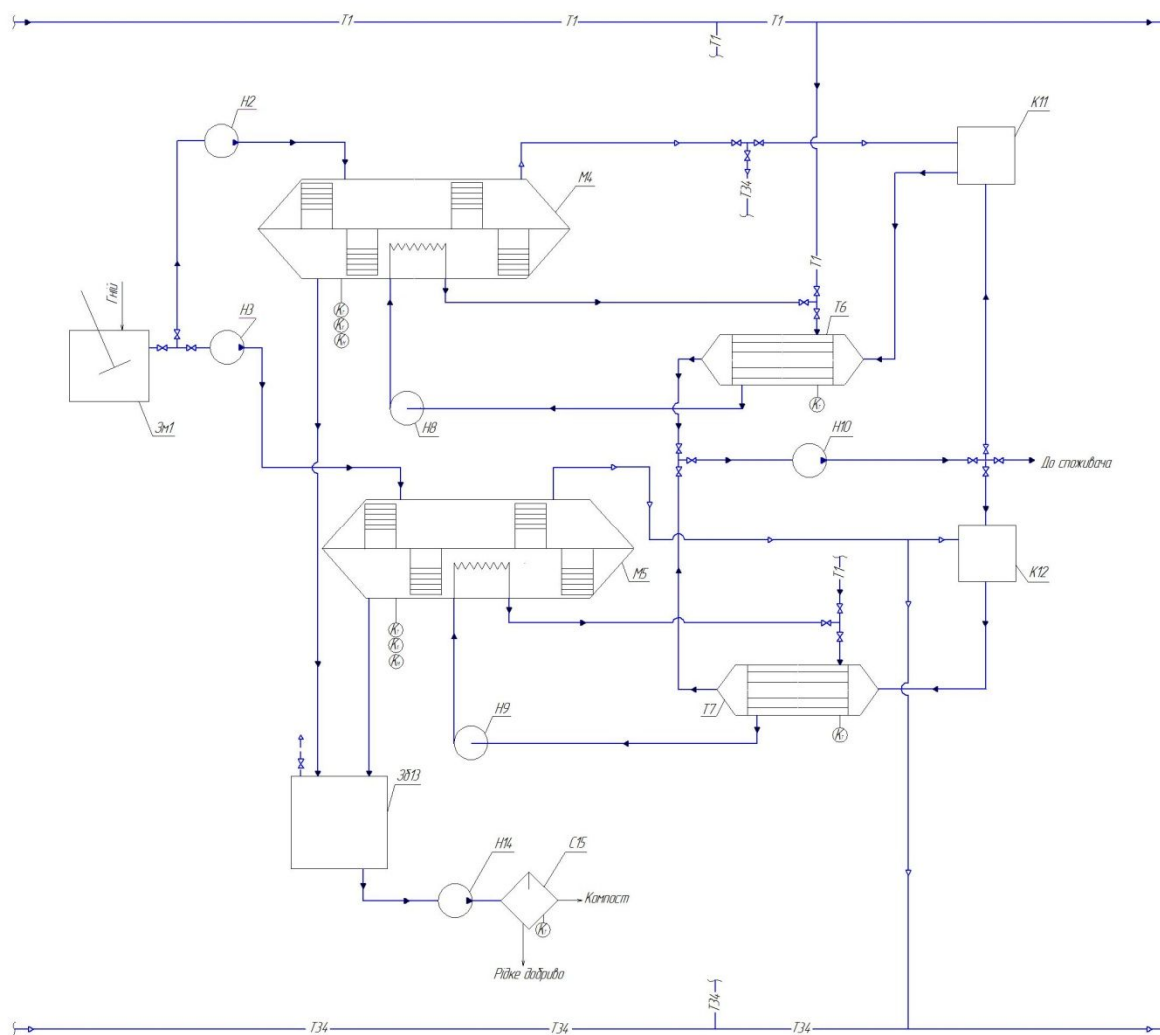
Гній із свиноферми ручним завантаженням подається у змішувач (Зм1), де його перемішують до однорідного гомогенного стану. Змішувач оснащений перемішуючим пристроєм, розміщеним під певним кутом. Таке розміщення запобігає утворенню воронки. Після набуття однорідного гомогенного стану гній перекачується насосами (Н2 і Н3) до метантенків (М4 і М5). В метантенках здійснюється мікробіологічний, технологічний та хімічний контроль.

В метантенку підтримується стала температура – $t = 33^{\circ}\text{C}$. Для підтримання сталої температури метантенк обладнаний п'ятьма змійовиками, в які подається вода з температурою $t = 38^{\circ}\text{C}$. Вода для змійовиків подається із трубопроводу з $t = 15^{\circ}\text{C}$ в кожухотрубні теплообмінники (Т6 і Т7). В теплообмінниках вода з трубопроводу нагрівається до $t = 38^{\circ}\text{C}$ гарячою водою з котлів. Гаряча вода виходить з котлів (К11 і К12) та надходить в теплообмінник з температурою $t = 90^{\circ}\text{C}$, на виході з теплообмінника ця вода має температуру $t = 70^{\circ}\text{C}$. Частина води з трубопроводу, нагріта до температури $t = 38^{\circ}\text{C}$, перекачується насосами (Н8 та Н9). В анаеробних умовах, за сталої температури середовища в метантенках утворюється біогаз.

Певна частина біогазу подається до газової мережі. Інша частина утвореного біогазу подається до водонагрівних котлів (K11 та K12).

Вода, що нагрівається в котлах, використовується як гарячий теплоносіє в кожухотрубному теплообміннику для підігріву до необхідної температури води в змішувачах. Гаряча вода на виході з теплообмінника (з використанням насоса H10) та, безпосередньо, гаряча вода з котла використовуються для задоволення потреб споживача.

Частина збродженого субстрату (в кількості, що дорівнює щоденній подачі свіжого субстрату в метантенк) відводиться із метантенка і перекачується насосом в збірник (Зб13). Зі збірника насосом (H14) зброджений субстрат подається в сепаратор (C15). В сепараторі здійснюється технологічний контроль. На виході з сепаратора отримують рідке мінеральне добриво та компост. Апаратурно-технологічна схема біогазової установки зображена на рисунку 4.1.



Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
ЗМ1	Змивач	1	
Н2, Н3	Насос	2	
М4, М5	Метантенк	2	
Т6, Т7	Теплообмінник кожухотрубний	2	
Н8, Н9	Насос	2	
Н10	Насос	1	
К11, К12	Котел	2	
ЗБІЗ	Збірник збродженого ґною	1	
Н14	Насос	1	
С15	Сепаратор	1	

Умовне позначення	Графічне	Найменування середовища в трубопроводі
Т1		Вода очищена
Т34		Біогаз

Рисунок 4.1 - Апаратурно-технологічна схема біогазової установки

4.2 Конструктивні особливості обраного анаеробного біореактора

4.2.1 Порівняльний аналіз основних показників конструкції

з діючими аналогами

4.2.1.1 Реферати про найбільш суттєві технічні рішення

1) Установка для производства биогаза: пат. 1581706 A1. Ru: МПК C02F11/04 (1990.07) / А.П. Курилов, Л.М. Ягудин, В.К. Маслич, Ю.Н. Аллянов, В.Н. Боцвин, А.В. Ларкин, А.М. Леховицер, Л.Н. Пасечник, Ю.Н. Писарев, В.М. Шрамков, В.И. Бородин, А.Г. Пузанков, Г.Е. Мовсесов, В.Н. Павличенко, А.А. Ковалев, О.П. Смирнов, Л.В. Погорелый, В.А. Ермоленко, В.П. Савин, В.И. Секерин.

Винахід відноситься до області переробки органічних відходів сільськогосподарського виробництва, наприклад гною та посліду тваринницьких ферм, з отриманням горючого газу, високоякісних добрив, та забезпеченням умов навколишнього середовища. Метою винаходу є підвищення продуктивності установки за вихідною масою та біогазу. Вихідний гній у ємності піддається подрібненню спеціальним пристроєм та перемішуванню через ряд струменевих насадок. Періодично отримувана гомогенна маса перемикачем направляється в деструктор тонкого подрібнення. Далі маса подається на підігрівач, де за допомогою теплообмінника типу труба в трубі підігрівається та подається в реактор, в якому відбувається процес зброджування, що інтенсифікується за рахунок змішувиків та мішалки з лопатями. Газ збирається газгольдером.

2) Установка для виробництва биогазу: пат. 41855 U. UA: МПК C02F11/00, C02F11/04 (2009.06) / Ткаченко Станіслав Йосипович, Резидент Наталія Володимирівна, Пішеніна Надія Володимирівна.

Установка для отримання біогазу, що містить біореактор, який газопроводом з'єднаний з газгольдером, а трубопроводом нагрітого вихідного відпрацьованого субстрату сполучений з теплообмінником-регенератором, який виконаний у вигляді двох ємностей, вкладених одна в одну таким чином, що утворені дві робочі порожнини, внутрішня та зовнішня, у вигляді кільцевого зазору, бак гарячої води, перемішувальний пристрій у вигляді вала із закріпленими на ньому гнучкими лопатками, що розміщений всередині біореактора, водогрійний котел для нагрівання теплоносія, перший та другий теплообмінники, трубопровід мережної води, збірник відпрацьованого субстрату, в який введено змішувач, який оснащено водяною сорочкою, що з'єднана з трубопроводом мережної води, причому внутрішня порожнина змішувача сполучена з біореактором та з баком -акумулятором гарячої води, встановлено циркуляційний насос і теплообмінник-осушувач отриманого біогазу, який з'єднаний з трубопроводом мережної води і з трубопроводом додаткової мережної води, крім того внутрішня порожнина теплообмінника-регенератора сполучена з біореактором і збірником відпрацьованого субстрату, а його зовнішня порожнина з'єднана з трубопроводом мережної води, крім того перший теплообмінник виконано у вигляді виносного теплообмінника, що сполучений з другим теплообмінником.

3) Метантенк: пат. 101226 С2. UA: МПК C02F11/04 (2006.01), C02F3/28 (2006.01) / Голуб Геннадій Анатолійович, Дубровіна Ольга Валеріївна, Маєвська Анна Геннадіївна, Рубан Борис Олександрович.

Винахід належить до сільського господарства і використовується у складі біогазових установок для виробництва біогазу та органічних добрив із рідкого гною та посліду. Метантенк, що містить горизонтальний зовнішній корпус, наповнений рідиною, циліндричний реактор, закріплений у зовнішньому корпусі з можливістю обертання навколо своєї осі, який розділений повздовжньою перегородкою, що ділить його внутрішній об'єм на дві паралельні камери зброджування, патрубки для підводу й відводу органічної маси, суміщені із віссю обертання циліндричного реактора,

патрубок для відводу біогазу та вивантажувальну камеру, з'єднану з патрубком для відводу органічної маси, при цьому патрубок для відводу органічної маси має діаметр, більший ніж патрубок для відводу органічної маси, патрубок для відводу біогазу встановлений у верхній частині вивантажувальної камери, а повздовжня перегородка, яка ділить внутрішній об'єм циліндричного реактора на дві паралельні камери зброджування, продовжена у патрубку для відводу органічної маси на відстань не менше, ніж до торця патрубка для відводу органічної маси, крім того, у кожній паралельній камері зброджування на геометричній осі повздовжньої перегородки встановлено на шарнірах, з можливістю вільно повертатися, перемішувальні пальці. Метантенк забезпечує під час роботи порційно-послідовне проходження зброджуваної маси та недопущення розшарування органічної маси на фракції.

4) Метантенк: пат. 89305 С2. UA: МПК C02F11/04 , C02F3/28 (2009) / Голуб Геннадій Анатолійович, Рубан Борис Олександрович, Дубровіна Ольга Валеріївна.

Метантенк, що містить циліндричний горизонтальний зовнішній корпус з патрубками для підводу й відводу органічної маси та патрубком для відводу біогазу, циліндричний перемішувальний пристрій, закріплений у зовнішньому корпусі з можливістю обертання навколо своєї геометричної осі, причому перемішувальний пристрій розділений перегородкою, яка повністю не перекриває його повздовжній переріз та ділить внутрішній об'єм перемішувального пристрою на дві послідовні камери зброджування, крім того, повздовжня перегородка встановлена під кутом до геометричної осі перемішувального пристрою так, що площа поперечного перерізу по ходу зброджуваної маси між повздовжньою перегородкою та циліндричною поверхнею перемішувального пристрою збільшується, який відрізняється тим, що камери зброджування сполучені отвором, що утворений повздовжньою перегородкою та суцільною основою циліндричного перемішувального пристрою зі сторони, де в зовнішньому корпусі встановлено патрубок для

відводу органічної маси, основа циліндричного перемішувального пристрою зі сторони, де в зовнішньому корпусі встановлено патрубок для підводу органічної маси, виконана відкритою, бокова поверхня циліндричного перемішувального пристрою, що утворює другу послідовну камеру зброджування і примикає до відкритої основи, має виріз, обмежений повздовжньою перегородкою, а суцільна основа циліндричного перемішувального пристрою виконана таким чином, що перекриває, з можливістю обертання, внутрішній діаметр циліндричного горизонтального зовнішнього корпусу, утворюючи вивантажувальну камеру, а також має сегментний виріз, який по висоті не перевищує відстані між внутрішньою поверхнею циліндричного горизонтального зовнішнього корпусу та зовнішньою поверхнею циліндричного перемішувального пристрою.

5) Патент С13М1/107 UA / Установка для одержання біогазу з відходів тваринництва / Копійка Віктор Іванович, UA, Кравченко Вале-рій Михайлович, UA, Гаркуша Валентин Володи-мирович, UA, Кравець Борис Кирилович, UA.

Корисна модель відноситься до ферментативної переробки відходів тваринництва, а саме - до установок для одержання біогазу з відходів тваринного походження в умовах індивідуальних селянських і фермерських господарств. Установка для одержання біогазу з відходів тваринництва, що містить ємкість із патрубком для підведення субстрату, патрубками для виведення газу і переробленого субстрату і пристроєм підігріву субстрату, що відрізняється тим, що в одному корпусі ємкості об'єднані - нижня реакторна зона, заглиблена в ґрунт, і верхня газгольдерна зона, розташована над поверхнею ґрунту, при цьому патрубок для підведення субстрату встановлений під кутом до вертикальної осі ємкості таким чином, що його вихідний отвір розташований у центрі реакторної зони ємкості і обладнаний пристроєм із лопатями, патрубок для виведення переробленого субстрату обладнаний розпушувачем-прочищувачем так, що вхідний отвір його розташований біля дна ємкості, вихідний над поверхнею землі, а у верхній

частині газгольдерної зони ємкості встановлені патрубок для виведення біогазу, обладнаний фільтрами механічної і гідравлічної очистки та вогнеперекривачем, регулятор-запобіжник тиску біогазу і люк для технічного обслуговування.

6) Патент 7CO2F11/O4 UA / Коваленко Валерій Олексійович, Дубровін Валерій Олександрович, Кривенок Микола Якович, Поляковський Василь Михайлович, Шевченко Лариса Василівна.

Корисна модель відноситься до сільського господарства, зокрема до техніки обробки органічних відходів і може бути використана для анаеробного зброджування екскрементів тварин і птиці з метою отримання біогазу, високоякісних добрив і забезпечення умов охорони довкілля. Установа для виробництва біогазу, яка містить резервуар метантенка в оболонці, простір між якими заповнено акумулювальною речовиною, яка відрізняється тим, що як джерело тепла і акумулювальну речовину використовують органічну масу, придатну до компостування, для періодичного завантаження і вивантаження якої оболонка, виконана з теплоізоляційного матеріалу, обладнана вікнами.

В установці для виробництва біогазу, яка містить резервуар метантенка в оболонці, простір між якими заповнено акумулюючою речовиною, згідно корисної моделі в якості джерела тепла і акумулюючої речовини використовується органічна маса придатна до компостування, для періодичного завантаження і вивантаження якої оболонка, виконана із теплоізоляційного матеріалу, обладнана спеціальними вікнами, зокрема в просторі між резервуаром метантенка і оболонкою встановлені перфоровані пластикові труби з'єднані з атмосферним повітрям, а в якості органічної маси придатної до компостування використовують тверду фракцію гною, або суміші рідкого гною, пташиного посліду, осадів стічних вод з соломою, торфом, відходами лісопромислового комплексу, переробної промисловості.

7) Авторское свидетельство №12096П, кл.С02F11/04,1983 / А.П.Курилов, Л.М.Ягудин, В.К.Маслич, Ю.Н.Аллянов, В.Н.Боцвин, А.В.Ларкнн, А.М.Леховицер, Л.Н.Пасечник, Ю.Н.Писарев, В.М.Шрамков,

В.И.Бородин, А.Г.Пузанков, Г.Е.Мовсесов, В.Н.Павличенко, АА.Ковалев, О.П.Смирнов, Л.В.Погорельй, В.А.Ермоленко, В.П.Савини, В.И.Секерин.

Винахід належить до сільського господарства, зокрема до технологічних ліній і установок з переробки в анаеробних умовах органічних відходів сільськогосподарського виробництва, наприклад гною і посліду тваринницьких і птахівничих ферм, з отриманням горючого газу, високоякісних добрив і забезпеченням умов охорони навколишнього середовища. Метою винаходу є підвищення продуктивності установки за вихідною масою і біогазу.

Установка для виробництва біогазу, що містить ємність вихідної маси, насос, трубопровід, що з'єднує ємність з підігрівачем, оснащений теплообмінником і мішалкою, реактор з мішалкою та нагрівачем, газгольдер, з'єднаний з газовою порожниною реактора подають і відводять трубопроводи, що відрізняється тим, що, з метою підвищення продуктивності установки, вона обладнана встановленим на трубопроводі, що з'єднує ємність початкової маси з підігрівачем, розподільним пристроєм, сполученим циркуляційним трубопроводом з ємністю початкової маси і відвідним трубопроводом з ємністю сброженої маси, а також деструктором тонкого подрібнення, встановленим між розподільним пристроєм і підігрівачем, ємність початкової маси забезпечена подрібнювальним пристроєм, встановленим на вході насоса, і гомогенізатором, встановленим на його виході, підігрівач обладнаний циркуляційним трубопроводом, забірний кінець якого розташований в донній частині навпроти трубопроводу, що подає, а вихідний кінець підходить до трубопроводу подачі, а теплообмінник типу «труба в трубі», внутрішня труба якого з'єднана з циркуляційним трубопроводом, а зовнішня - з трубопроводом подачі теплоносія, мішалка підігрівача встановлена під подавальним трубопроводом та під кутом до дна установки.

8) Патент С05F3/00 UA / Писарев Станіслав Іванович, Коцинський Броніслав Броніславович, Бабієв Григорій Миколаєвич.

Спосіб анаеробної переробки сільськогосподарських відходів в біогаз, що включає відділення великих включень, послідовну подачу відходів на зброджування в отдельноразмещение герметичні кислототенк і метантенк, підтримання фізико-хімічних параметрів процесу, висновок біогазу, який відрізняється тим, що перед подачею на зброджування подрібнюють тверді включення до розмірів 3-х мм, підтримують вологість подається на переробку суміші в межах 84-86% і пропускають її через теплообмінник в кислототенк, витриману суміш доводять до оптимального значення рН для конкретного виду відходів, що визначається в межах 5,5-6,4, а температуру в кислототенке встановлюють на 5-10 ° С нижче, ніж на наступній стадії зброджування, потім утворену в кислототенке суміш направляють під шар рідини в метантенк з урахуванням збереження тиску в кислототенке не нижче 2 м висоти водяного стовпа, при чому періодично, по мірі необхідності, роблять збільшення подачі зброджуваних відходів з кислототенка в метантенк шляхом часткового скидання робочого об'єму кислототенка, в метантенке встановлюють температуру 33-35 ° С, а значення рН в метантенке регулюють в межах 7,6-8,0 шляхом зміни співвідношення обсягу метантенка і величини завантаження, виробляють відділення суміші, що містить біогаз, рідку фракцію якого повертають в метантенк, потім від піни відокремлюють біогаз, а зброджені відходи з метантенка направляють в теплообмінник.

9) Патент UA(11) 67819 (13) U / МПК C02F 11/04 (2006.01) / Ратушняк Георгій Сергійович (UA), Джеджула В'ячеслав Васильович (UA), Кощєєв Іван Анатолійович (UA).

В основу корисної моделі поставлена задача створення біогазової установки з тепловим насосом, яка буде працювати за рахунок введення нових елементів та зв'язків, при цьому за рахунок теплового насоса та холодильної камери досягається можливість проходження процесів бродіння без використання електроенергії, що призводить до зменшення витрат на отримання біогазу.

В біогазову установку з тепловим насосом, яка містить конденсатор та випарник, резервуар-реактор з газгольдером та шахтами завантаження біомаси, резервуар-реактор оснащений трубами споживача, бак-акумулятор, два трубопроводи, один з яких сполучає бак-акумулятор з біогазовим реактором, а другий бак-акумулятор - з тепловим насосом, введено холодильну камеру, в якій розміщений теплообмінний контур теплового насоса, резервуар-реактор закритий ковпаком, який встановлений з можливістю руху по напрямних, манометр, що розташований в ковпаку, в резервуар-реактор введено провальні колосникові решітки з вмонтованим нагрівником з можливістю зміни гідравлічного опору за допомогою регулятора, причому провальні колосникові решітки розташовані в резервуарі-реакторі і ділять його на три секції, кожна з яких має оглядові вікна, шахти завантаження біомаси з заслінками, труби споживача поєднані в одну мережу і з'єднані з кожною секцією резервуара-реактора, крім того в нижній частині резервуара-реактора розміщена ємність для збору біодобрив з заслінкою, а провальні колосникові решітки з'єднані з резервуаром-реактором за допомогою шарнірів та кінематично зв'язані з віброактиватором, перший та другий трубопроводи складаються з циркуляційного насоса, запірно-регулювальної арматури, спускника та повітроспускника.

10) Патент UA (11) 79368 (13) U / МПК C02F 11/04 (2006.01) / Ратушняк Георгій Сергійович (UA), Лялюк Олена Георгіївна (UA), Кощесв Іван Анатолійович (UA).

В основу корисної моделі поставлена задача створення біогазової установки, в якій за рахунок введення нових елементів та зв'язків досягається можливість відведення шламу за допомогою циркуляційного насоса, а також можливість перекачування субстрату через теплообмінник для його підігрівання та перемішування його за допомогою гідромеханічного розкручувача потоку субстрату, розміщеного в нижній частині резервуара, в результаті чого відбувається зменшення седиментації твердих частинок в нижній частині резервуара та руйнування кірки в верхній частині резервуара,

що призводить до якісного перемішування субстрату і рівномірного розподілення температур у резервуарі біогазової установки.

В біогазову установку, яка містить резервуар, що накритий утеплювачем, теплообмінник, трубу споживача, захисну газорозподільну решітку, розташовану в верхній частині резервуара, а в його нижній частині виконано отвір для видалення відпрацьованого субстрату і закрито кришкою з шиберною засувкою, бункер завантаження з шиберною засувкою, циркуляційний насос, крани, засувки, введено трубопровід перенесення субстрату та трубопровід відведення шламу, що з'єднані між собою, в нижній частині резервуара розміщений гідромеханічний розкручувач потоку субстрату, трубопровід подачі теплової енергії та теплообмінник, що з'єднані між собою та з трубопроводом перенесення субстрату.

11) Патент UA (11) 81154 (13) C2 / МПК (2006) C02F 11/04 / Лінник М.К., Мельничук М.Д., Дубровін В.О., Голуб Г.А., Таргоня В.С., Рубан Б.О., Дубровіна О.В.

Метантенк, що містить циліндричний горизонтальний корпус, закріплений у водяному басейні з можливістю обертання навколо своєї геометричної осі, та патрубки для відводу біогазу, на торцях метантенка встановлені по геометричній осі консольні труби, що одночасно є горловинами для завантаження та вивантаження органічної маси, корпус метантенка розділений поперечними перегородками на камери попереднього, основного та залишкового зброджування, крім того, в камерах попереднього та залишкового зброджування встановлено радіальні повздовжні перегородки з вирізами під патрубки для відводу біогазу, який відрізняється тим, що поперечні перегородки, які обмежують камери попереднього та залишкового зброджування, повністю не перекривають поперечний переріз корпусу і встановлені симетрично площині, що проходить через геометричну вісь корпусу, а в камері основного зброджування встановлені симетрично площині, що проходить через геометричну вісь корпусу, повздовжні перегородки, які однією стороною приєднані до поперечних перегородок, а

протилежною утворюють із поперечними перегородками отвори для проходження зброджуваної маси, причому повздовжні перегородки встановлені під кутом до геометричної осі корпусу так, що площа поперечного перерізу по ходу зброджуваної маси між повздовжніми перегородками збільшується.

12) Патент UA (11) 85668 (13) C2 / МПК (2009) C12M 1/00 / C12P 5/00 / C02F 11/04 / Адаменко І.О., Адаменко О.І..

Пристрій для ферментації біомаси (водоростей, мулу, торфу, рослинних залишків) для одержання біогазу у воді без перевантажень і транспортування, який має метантенк з пристроями перемішування, нагрівання, іммобілізатором, газозбірником, газгольдером, компресорами, насосами, трубопроводами, джерелом електроенергії і пультом керування, який відрізняється тим, що робочий об'єм пристрою створено між стінами каркаса, які виконані з теплоізоляцією і об'ємами для зміни плавучості, і шнековими рушіями з електроприводами для самостійного плавання, обладнано герметизованим світлопрозорим куполом, з'єднаним із газгольдером, та рухливим газонадувним днищем для відокремлення і теплоізоляції робочого об'єму, яке має можливість намотуватися в рулон при переїздах і перекриває дно, герметизуючи його силами виштовхування із води, шнековим розпушувачем, що переміщується по всій довжині і глибині робочого об'єму, і обертовим іммобілізатором, зануреним у біомасу на межі з газом, обладнаним підтримуючими поверхнями сіток чи ниток для подачі на них маточної культури метанових бактерій, при цьому робочий об'єм пристрою для ферментації з куполом, днищем, іммобілізатором, шнековим розпушувачем з приводними двигунами виконаний як автономний плавзасіб, а джерело електроенергії, газгольдер, маточник культури метанових бактерій, компресори, насоси, пульт керування розміщено на березі водойми чи на іншому плавзасобі і з'єднано кабельними лініями і газопідводами.

13) Патент UA (11) 96063 (13) U / МПК C02F 11/04 (2006.01) / C02F 3/28 (2006.01) / Голуб Геннадій Анатолійович (UA), Кухарець Савелій Миколайович (UA).

Метантенк містить горизонтальний зовнішній корпус, наповнений рідиною, циліндричний реактор, закріплений у зовнішньому корпусі з можливістю обертання навколо своєї геометричної осі, перегородку, продовжену у патрубку для відводу органічної маси на відстань не менше, ніж до торця патрубку для відводу органічної маси, патрубку для підводу й відводу органічної маси, суміщені із віссю обертання циліндричного реактора, патрубків для відводу біогазу та вивантажувальну камеру, з'єднану з патрубком для відводу органічної маси. При цьому патрубок для відводу органічної маси має діаметр більший, ніж патрубок для підводу органічної маси, патрубок для відводу біогазу встановлений у верхній частині вивантажувальної камери. Перегородка виконана у вигляді рухомих пластин з можливістю радіального переміщення.

4.2.1.2 Відомості про використані винаходи, результати патентних досліджень і патентну чистоту

Предмет пошуку: установки, апарати, пристрої. Об'єктом пошуку є винаходи і корисні моделі.

Мета пошуку: визначення патентної ситуації щодо теми, що розглядається у дисертації (визначення патентоспроможності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США, ЕС.

Ретроспективність: строк дії патенту України на винахід становить 20 років від дати подання заявки до установи. Строк дії деклараційного патенту на винахід становить 6 років від дати подання заявки до установи. Встановлюємо регламент пошуку 1990-2013 рр.

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту, Роспатенту, United States Patent, Європейського патентного відомства;

2) Науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

4.2.1.3 Відомості про використані винаходи, результати патентних досліджень і патентну чистоту

Предмет пошуку: установки, апарати, пристрої. Об'єктом пошуку є винаходи і корисні моделі.

Мета пошуку: визначення патентної ситуації щодо теми, що розглядається у дисертації (визначення патентоспроможності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США, ЕС.

Ретроспективність: строк дії патенту України на винахід становить 20 років від дати подання заявки до установи. Строк дії деклараційного патенту на винахід становить 6 років від дати подання заявки до установи. Встановлюємо регламент пошуку 1990-2013 рр.

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту, Роспатенту, United States Patent, Європейського патентного відомства;

2) Науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

4.2.1.4 Висновки патентних досліджень

В результаті проведених патентних досліджень встановлено, що останнім часом винахідницька активність промислово розвинутих країн у галузі енергозберігаючих технологій, де використовуються анаеробні

біореактори для синтезу біогазу, зокрема метантенки, залишається стабільною. При цьому вдосконалення існуючих конструкцій ведеться у сфері об'єднання переваг різних конструкцій реакторів, вдосконаленні конструктивних елементів анаеробних біореакторів, зокрема завантаження, перемішування та пристроїв для відведення біогазу. У розробці нових апаратів активну участь приймає і Україна. При цьому запатентовані винаходи й корисні моделі стосуються як апаратів в цілому, так і його складових частин.

4.2.2 Принцип роботи анаеробного біореактора

Метантенк представляє собою горизонтальний циліндричний апарат (див. рисунок 4.2). Метантенк містить корпус 1, сорочку 2, привод 4, підшипниковий вузол з ущільненнями 5 штуцер завантаження свіжого субстрату 7 і штуцер для вивантаження відпрацьованого субстрату 8, штуцер для відведення біогазу 9, перемішувальний пристрій 6 складається з трьох секцій, виготовлених з вертикальних трубок 10 і горизонтальних трубок 11, в які подається теплоносії через нерухому трубку 15 заведену в порожнистий вал 3 з отворами під трубки і пробками 12, переточними патрубками 13 і кільцями для ущільнення 14.

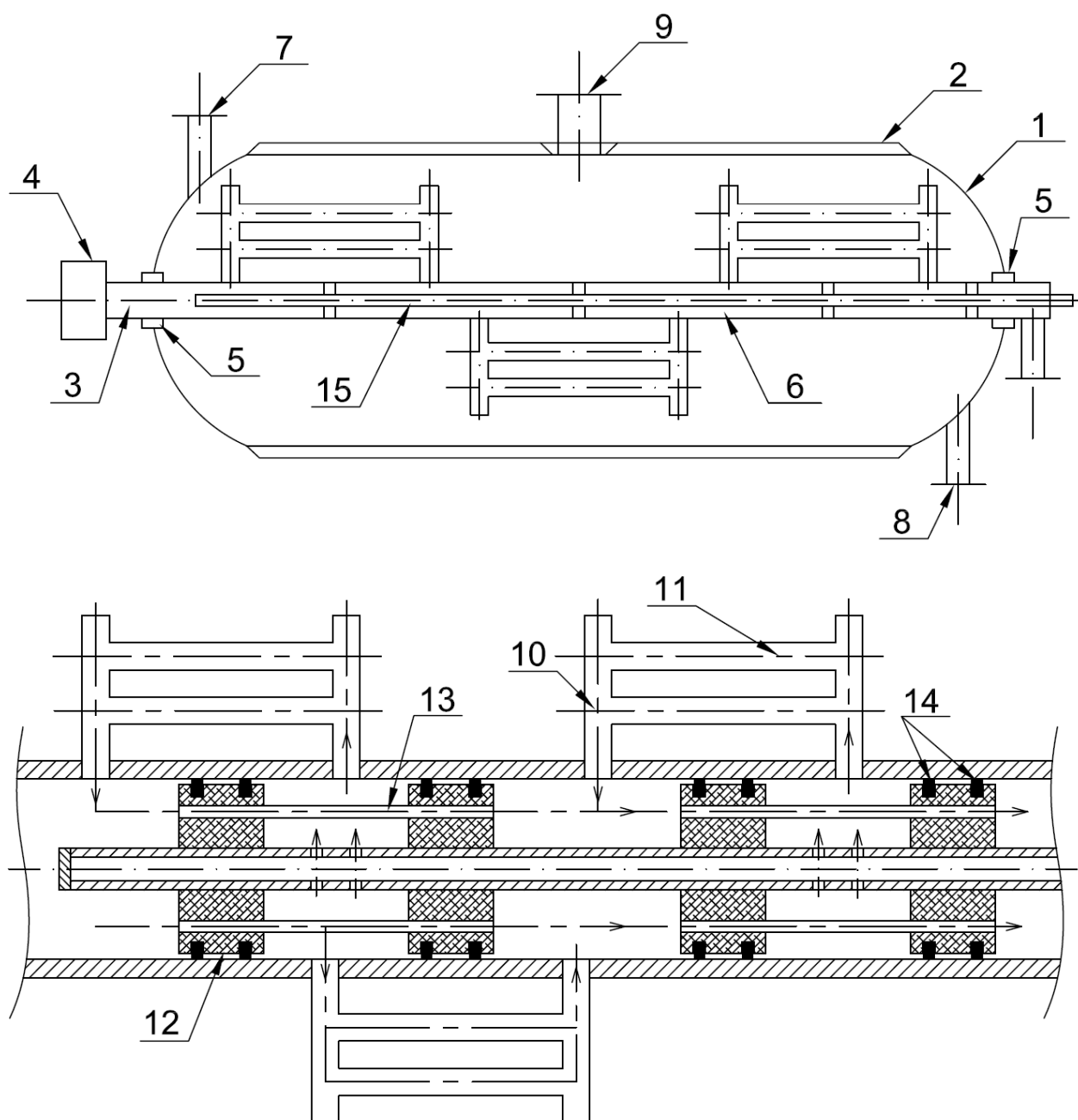


Рисунок 4.2 – Принципова схема роботи метантенка

4.2.3 Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів

Для вибору матеріалів використовуємо технічні вимоги і технічну характеристику, яким має задовольняти апарат. Враховуючи, що тиск в

апараті не перевищує 0,3 МПа, а температура 38°C - для частин апарату, середовище у апараті є корозійним, з рН = 6,5...7,5, обираємо леговану корозійностійку сталь 08Х22Н6Т ГОСТ 19281- 89.

Для виготовлення опор застосовується низьколегована сталь, марки 16ГС ГОСТ 19281- 89 [36].

Кріпильні вироби (болти, гайки, шайби) виготовляються зі сталі марки Ст30 ГОСТ 380-71. Матеріал прокладок – фторопласт [36].

4.3 Технічна характеристика апарату

1. Призначення - синтез біогазу з відходів сільськогосподарської промисловості

2. Об'єм номінальний в апараті, м ³	750
3. Коефіцієнт заповнення в апараті	0,8
4. Надлишковий тиск, кПа	
у апараті робочий	1
у апараті при гідравлічних випробуваннях	2
5. Площа поверхні теплообміну, м ²	1328
6. Температура середовища, °C	
робочого середовища	33
гріючої води	38
7. Витрати нагрівальної води, м ³ /год	13,5
8. Середовище в апараті – нетоксичне, корозійне, вибухонебезпечне	
9. Частота обертання, хв ⁻¹	0,67
10. Маса виробу в робочому стані, кг	$1,115 \cdot 10^7$
11. Габаритні розміри, мм	
довжина	28590
ширина	9024
висота	12520

4.4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

4.4.1 Технологічний розрахунок

Мета розрахунку:

Метою технологічного розрахунку є визначення основних технологічних параметрів за вихідними даними, спрямована зміна яких може суттєво підвищити ефективність процесу зброджування.

Вихідні дані до розрахунку:

істинна густина гною (густина твердої фази) кг/м ³ ;	$\rho_{\text{ист}} = 1500$
вологість гною	$W = 92\%$;
максимальна питома швидкість росту біомаси мікроорганізмів	$\mu_m = 0,3 \text{ доба}^{-1}$;
тривалість перебування гною в метантенку	$\tau = 21 \text{ доба}$;
граничний вихід біогазу на одиницю маси, завантаженої в метантенк органічної речовини при нескінченній тривалості зброджування	$B = 0,73 \text{ м}^3/\text{кг}$;
кількість зброджуваного гною за добу	$G_{\text{гн}} = 28,71 \text{ м}^3/\text{доба}$.

За технологічним розрахунком метантенка повинні бути визначені наступні основні параметри [37]:

- концентрація сухої беззольної речовини завантажуваного в метантенк гною S , кг/м³;
- температура зброджування t , °C;
- навантаження на метантенк по сухій беззольній речовині d , кг/(м³·доба);
- питомий вихід біогазу на одиницю маси сухої беззольної речовини завантаження $B_{\text{уд}}$, м³/(м³·доба);
- швидкість виходу біогазу b/τ , м³/(м³·доба);

- робочий об'єм метантенку $V_{\text{роб}}, \text{м}^3$;
- загальний вихід біогазу $V_{\text{общ}}, \text{м}^3/\text{доба}$.

Для розрахунку концентрації сухої беззольної речовини гною S необхідно знати об'ємну густину гною $\rho_{\text{об}}$ при заданій його вологості W .

Значення $\rho_{\text{об}}$ можна розрахувати за формулою [38]:

$$\rho_{\text{об}} = \frac{\rho_{\text{ист}}}{100 + W \left(\rho_{\text{ист}} \cdot 10^{-3} - 1 \right)} 100$$

$$= \frac{1500}{100 + 92 \left(1500 \cdot 10^{-3} - 1 \right)} 100 = 1027,397 \text{ кг/м}^3, \quad (4.1)$$

де $\rho_{\text{ист}} = 1500 \text{ кг/м}^3$ – істинна густина гною (густина твердої фази), кг/м^3 .

При виборі температурного режиму зброджування слід враховувати, що швидкість виходу біогазу b/τ або навантаження на метантенк d з підвищенням температури процесу збільшуються, а санітарна зараженість гною знижується. Разом з тим витрата теплоти на процес зростає. Вплив температури на швидкість виходу біогазу оцінюється максимальною питомою швидкістю росту біомаси мікроорганізмів μ_m . Для мезофільного процесу ($t = 33^\circ\text{C}$) $\mu_m = 0,3 \text{ доба}^{-1}$.

Розрахунок проводиться за методикою, представленою в [37]. Навантаження на метантенк та тривалість зброджування τ взаємопов'язані, та при заданому одному з параметрів інший визначається за формулою:

$$S = d \cdot \tau = 4,448 \cdot 21 = 93,408 \text{ кг/м}^3. \quad (4.2)$$

За таблицями вибираємо $\tau = 21$ доба – тривалість процесу, $W = 92\%$ - вологість гною. За цими даними визначаємо навантаження d по сухій беззольній речовині – $d = 4,448 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{доба}$.

Для розрахунку $V_{\text{уд}}$ визначаємо критичне значення концентрації беззольної речовини $S_{\text{кр}}$. При перевищенні цієї концентрації процес зброджування різко затримується, а K – кінетичний параметр процесу ($K = f(S)$) різко зростає. K можна розрахувати за формулою:

$$K = K_r (\mu_m S - d) (BS - K_r d). \quad (4.3)$$

де B – граничний вихід біогазу на одиницю маси завантаженої в метантенк органічної речовини при нескінченній тривалості зброджування, $\text{м}^3/\text{кг}$; приймаємо $B = 0,73 \text{ м}^3/\text{кг}$ як для активного мулу; K_r , $\text{м}^3 \cdot \text{доба}/\text{кг}$ – коефіцієнт пропорційності.

K_r розраховується за формулою:

$$K_r = \frac{(38S - 205)P}{100(t - 17,8)} =$$

$$K_r = \frac{(38 \cdot 93,408 - 205) \cdot 1}{100(33 - 17,8)} = 2,2 \frac{\text{м}^3 \cdot \text{доба}}{\text{кг}}, \quad (4.4)$$

де $P = 1$ – поправочний коефіцієнт для температури зброджування $t = 33^\circ\text{C}$.

Знаючи значення K_r , розраховуємо значення критичної концентрації гною $S_{кр}$ за наступною формулою:

$$S_{кр} = \frac{(100K_r(t - 17,8) + 205)}{38P} =$$

$$= \frac{(100 \cdot 2,2(33 - 17,8) + 205)}{38 \cdot 1} = 93,408 \text{ кг}/\text{м}^3. \quad (4.5)$$

Так як $S = S_{кр}$, то $S = 93,408$.

Питомий вихід біогазу на одиницю маси сухої беззольної речовини завантаження $B_{y\partial}$ розраховуємо за формулою:

$$B_{y\partial} = B - K_r \left(\frac{d}{S} \right) =$$

$$= 0,73 - 2,2 \left(4,448/93,408 \right) = 0,625 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3 \cdot \text{доба}}. \quad (4.6)$$

Швидкість виходу біогазу, b/τ , $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доба})$, знаходимо за наступною формулою:

$$b/\tau = B_{y\partial} \cdot d = \quad (4.7)$$

$$= 0,625 \cdot 4,448 = 2,78 \frac{м^3}{м^3 \cdot доба}.$$

Кількість зброджуваного гною за добу: $G_{гн} = 28,71 \text{ м}^3/\text{доба}$. Необхідний робочий об'єм метантенку $V_{роб}$, м^3 , для заданої кількості зброджуваного гною визначається за формулою:

$$V_{роб} = G_{гн} \cdot \tau = 28,71 \cdot 21 = 600 \text{ м}^3. \quad (4.8)$$

Загальний вихід біогазу, $\text{м}^3/\text{доба}$, розраховується за формулою:

$$B_{общ} = (b/\tau) V_{роб} = 2,78 \cdot 600 = 1668 \text{ м}^3/\text{доба}. \quad (4.9)$$

Тоді сумарний вихід біогазу за 21 добу:

$$\sum B_{общ} = B_{общ} \cdot \tau = 1668 \cdot 21 = 35030 \text{ м}^3. \quad (4.10)$$

Номінальний об'єм знаходимо за формулою:

$$V_n = V_{роб} / \phi = 600 / 0,8 = 750 \text{ м}^3. \quad (4.11)$$

де ϕ - коефіцієнт заповнення, за [2] $\phi = 0,8$.

4.4.2 Матеріальний баланс

Мета проведення матеріального розрахунку:

Для визначення витрат вихідних матеріалів, виходу готових продуктів, розмірів та продуктивності апарату проводяться матеріальні розрахунки на основі закону збереження матерії та стехіометричних відношень, виражених в хімічних рівняннях.

Розрахунок проводимо за методикою, представленою в [39].

Визначаємо густину біогазу, як усереднене значення густини біогазу, що утворюється в процесі розпаду жирів, білків, вуглеводнів:

$$\rho_B = \frac{1,25 + 1,05 + 1,01}{2} = \frac{3,31}{2} = 1,655 \text{ кг}/\text{м}^3. \quad (4.12)$$

Утворення метану з гною відбувається за стехіометричним рівнянням:

$$\begin{aligned}
 & a_1 [C_{4,08}H_{8,5}O_{2,5}] + a^{H_2O} [H_2O] = \\
 & = a^{met} [CH_4] + a^{CO_2} [CO_2] + a^b [C_{4,25}H_{6,5}O_{1,7}]
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

Експериментально встановлено, що з 1 кг субстрату утворюється 0,06 кг абсолютно сухої біомаси (АСБ), а масове співвідношення між метаном та CO_2 становить 1:1,78 [39].

Знаходимо стехіометричні коефіцієнти. Для проведення розрахунку з одержанням певних числових значень стехіометричних коефіцієнтів довільно обираємо числове значення стехіометричного коефіцієнту вуглецевмісного субстратного компонента. Приймаємо коефіцієнт при гної $a_1 = 1$.

За рецептурним співвідношенням:

$$\frac{a_1 \cdot 97,46}{a^b \cdot 84,7} = \frac{1}{0,06},$$

де молярна маса субстрату – $M[C_{4,08}H_{8,5}O_{2,5}] = 97,46 \text{ г / моль}$;
молярна маса абсолютно сухої біомаси після зброджування –
 $M[C_{4,25}H_{6,5}O_{1,7}] = 84,7 \text{ г / моль}$. З пропорції визначаємо, що $a^b = 0,069$.
Аналогічно, знаючи масове співвідношення між метаном і вуглекислим газом:

$$\frac{a^{met} \cdot 16}{a^{CO_2} \cdot 44} = \frac{1}{1,78},$$

тут молярна маса метану – $M[CH_4] = 16 \text{ г / моль}$; молярна маса вуглекислого газу – $M[CO_2] = 44 \text{ г / моль}$. Тоді за пропорцією стехіометричний коефіцієнт перед вуглекислим газом:

$$a^{CO_2} = \frac{1,78 \cdot 16}{44} a^{met}.$$

Для визначення стехіометричного коефіцієнта перед метаном підраховуємо кількість “атомів” вуглецю в лівій і правій частині стехіометричного рівняння і складаємо рівняння:

$$4,08 = a^{met} \cdot 1 + [(1,78 \cdot 16) / 44] \cdot a^{met} + 0,069 \cdot 4,25.$$

Звідси знаходимо a^{met} :

$$a^{met} = \frac{4,08 + 0,293}{29,48} = 0,128.$$

Тепер знаючи a^{met} визначаємо a^{CO_2} :

$$a^{CO_2} = \frac{28,48 \cdot 0,128}{44} = 0,083.$$

Далі підраховуємо кількість “атомів” водню в лівій і правій частині стехіометричного рівняння. Звідси за пропорцією знаходимо стехіометричний коефіцієнт перед водою:

$$a^{H_2O} = \frac{0,514 + 0,449 - 8,5}{2} = -3,769.$$

Перевіряємо матеріальний баланс:

$$97,46 - 11,307 \neq 1,330 + 3,658 + 5,844.$$

Це означає, що $a_1 \neq 1$.Тоді:

$$a_1 \cdot 97,46 - 11,307 \neq 1,330 + 3,658 + 5,844.$$

Звідци a_1 :

$$a_1 = \frac{22,139}{97,46} = 0,227.$$

Перевіряємо матеріальний баланс:

$$22,139 - 11,306 = 1,330 + 3,658 + 5,844.$$

$$10,833 = 10,833.$$

Результати розрахунків вносимо в балансову таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків матеріального балансу

Взято, мас. одиниць		Одержано, мас. одиниць	
Гній	22,139	Метан	1,330
Вода	-11,307	Вуглекислий газ	3,658

		Абсолютно суха біомаса (АСБ)	5,844
Разом	10,832	Разом	10,832

4.4.3 Енергетичний баланс

Мета розрахунку:

Переробка матеріалів в технологічних процесах пов'язана з витратою енергії (теплової, механічної, електричної та іншої). Для визначення витрат енергії складають енергетичні баланси. Розрахунок проведено згідно з методикою, представленою в [39].

Спочатку виписуємо речовини, здатні згоряти, і представляємо їх у таблиці 4.2:

Таблиця 4.2 – Речовини, здатні згоряти, за стехіометричним рівнянням.

Взято, кг		Одержано, кг	
Гній	22,139	АСБ	5,844
		Метан	1,33
Разом	22,139	Разом	7,174

Субстрат для проведення процесу - рідкий гній. Для нашого випадку 10,832 кг рідкого гною відповідає 5,844 кг АСБ. Робочий об'єм метантенку – $V_{\text{роб}} = 600 \text{ м}^3$. Об'єм, що займає абсолютно сухий гній в метантенку, враховуючи, що вологість гною в метантенку складає 92%, буде дорівнювати:

$$V_{\text{гн}} = V_{\text{роб}} \cdot 0,08 = 600 \cdot 0,08 = 48 \text{ м}^3. \quad (4.14)$$

Знаючи $V_{\text{гн}} = 48 \text{ м}^3$ та $\rho'_{\text{гн}} = \rho_{\text{ист}} = 1500 \text{ кг/м}^3$ – справжня густина частинки, розраховуємо дійсну кількість сухого гною, що завантажується в метантенк:

$$G'_{\text{гн}} = V_{\text{гн}} \cdot \rho'_{\text{гн}} = 48 \cdot 1500 = 72000 \text{ кг}. \quad (4.15)$$

Розраховуємо дійсну кількість АСБ, що зброджується за пропорцією:

$$\frac{G_{ACB}}{G'_{гн}} = \frac{x_1}{\rho'_{гн} \cdot V_{гн}}; \quad (4.16)$$

$$x_1 = \frac{G_{ACB} \cdot \rho'_{гн} \cdot V_{гн}}{G'_{гн}} = \frac{5,844 \cdot 1500 \cdot 48}{22,139} = 19010 \text{ кг}.$$

$$G'_{ACB} = x_1 = 19010 \text{ кг}.$$

Аналогічно знаходимо кількість метану, що утворюється внаслідок бродіння в метантенку:

$$x_2 = \frac{G_m \cdot \rho'_{гн} \cdot V_{гн}}{G'_{гн}} = \frac{1,33 \cdot 1500 \cdot 48}{22,139} = 4325 \text{ кг}. \quad (4.17)$$

Після перерахунку остаточний ідеальний баланс процесу зброджування рідкого гною для отримання біогазу представляємо у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Ідеальний баланс процесу зброджування

Взято, кг		Одержано, кг	
Гній	72000	АСБ	19010
		Метан	4325
Разом	72000	Разом	23330

Визначаємо кількість теплоти, що виділяється при згоранні 1 кг речовини. Для визначення кількості тепла скористаємося емпіричною формулою Менделєєва [39]. Згідно з цією формулою у разі спалювання 1 кг речовини виділяється q кДж тепла. Емпірична формула Менделєєва має наступний вигляд:

$$q'_{гн} = 339,3C + 1256H - 109(O - S). \quad (4.18)$$

В цій формулі C , H , O , S – відсотковий вміст елемента в брутто-формулі. При цьому:

$$C + H + O + S + N = 100. \quad (4.19)$$

“Зайві” атоми в брутто-формулі не враховують. Метод визначення кількості теплоти полягає в наступному:

а) у визначенні теплот згорання 1 кг речовини за формулою Менделєєва усіх речовин, що входять в ідеальний матеріальний баланс, одержаний розв'язанням інтегрального стехіометричного рівняння, і що здатні згорати;

б) у визначенні сумарних теплот згорання вихідних та кінцевих продуктів реакції згідно з їх кількістю в ідеальному балансі і знаходженню різниці теплот;

в) у віднесенні одержаної різниці теплот до маси синтезованої АСБ.

Отже визначаємо, за наведеним вище методом, тепло, що виділяється при згоранні 1 кг гною, що має брутто-формулу $C_{4,08}H_{8,5}O_{2,5}$:

$$\begin{aligned} q'_{ГН} = 339,3C + 1256H - 109(O - S) = 339,3 \frac{4,08 \cdot 12 \cdot 100}{97,46} + \\ + 1256 \frac{8,5 \cdot 1 \cdot 100}{97,46} - 109 \left(\frac{2,5 \cdot 16 \cdot 100}{97,46} - 0 \right) = 23,526 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Тут 12, 1, 16 – атомарні маси вуглецю, водню та кисню, відповідно. Множення на 100 – вказує на відсотковий склад елементів у брутто-формулі. 97,46 – молярна маса гною, г/моль.

Тоді загальна кількість теплоти, що отримується з гною буде дорівнювати:

$$Q'_{ГН} = q'_{ГН} \cdot G'_{ГН} = 23,526 \cdot 72000 = 1694000 \text{ кДж}. \quad (4.21)$$

Аналогічно розраховуємо теплотворну здатність АСБ, що має брутто-формулу $C_{4,25}H_{6,5}O_{1,7}$:

$$\begin{aligned} q'_{АСБ} = 339,3C + 1256H - 109(O - S) = \\ = 339,3 \frac{4,25 \cdot 12 \cdot 100}{84,7} + 1256 \frac{6,5 \cdot 1 \cdot 100}{84,7} - \\ - 109 \left(\frac{1,7 \cdot 16 \cdot 100}{84,7} - 0 \right) = 26,569 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \end{aligned} \quad (4.22)$$

Тоді загальна кількість теплоти, що отримується з АСБ буде дорівнювати:

$$Q'_{АСБ} = q'_{АСБ} \cdot G'_{АСБ} = 26,569 \cdot 19010 = 505100 \text{ кДж}. \quad (4.23)$$

Аналогічно розраховуємо теплотворну здатність метану, що має брутто-формулу CH_4 :

$$q'_m = 339,3C + 1256H - 109(O - S) = \quad (4.24)$$

$$= 339,3 \frac{12 \cdot 100}{84,7} + 1256 \frac{4 \cdot 1 \cdot 100}{84,7} = 10,739 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Тоді загальна кількість теплоти, що отримується з метану буде дорівнювати:

$$Q'_m = q'_m \cdot G'_m = 10,739 \cdot 4325 = 46450 \text{кДж}. \quad (4.25)$$

Отже кількості теплоти, що утворюються під час згорання вихідних і кінцевих продуктів наводимо у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Енергетичний баланс процесу.

Сумарне тепло, що утворюється під час згорання вихідних речовин, кДж		Сумарне тепло, що виділяється під час згорання кінцевих продуктів, кДж	
Гній	1694000	АСБ	505100
		Метан	46450
Разом	1694000	Разом	551600

Різниця теплот складає:

$$1694000 - 551600 = 1142000 \text{ кДж}.$$

Знаходимо кількість тепла, що виділяється під час біосинтезу 1 кг АСБ:

$$E_T = \frac{1142000}{84,7} = 13480 \frac{\text{кДж}}{\text{кг АСБ}}.$$

Потужність, що витрачається на перемішування, визначаємо з гідродинамічного розрахунку.

4.4.4 Тепловий розрахунок метантенка

Мета розрахунку:

Визначаються коефіцієнти тепловіддачі, коефіцієнт теплопередачі. Проводиться розрахунок теплового навантаження, номінальної та розрахункової поверхні теплообміну.

Вихідні дані до розрахунку:

густина гною	$\rho_{\text{гн}} = 1450 \text{ кг/м}^3;$
потужність, що витрачається чотирьма мішалками	$N = 3996,48 \text{ Вт};$
коефіцієнт кінематичної в'язкості рідкого гною	$\nu = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$
питома теплоємність рідкого субстрату	$c_p = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$
динамічна в'язкість рідкого субстрату	$\mu = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с};$
теплопровідність рідкого субстрату	$\lambda = 0,62 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
швидкість води в трубах	$W_r = 1 \text{ м/с};$
внутрішній діаметр труби	$d_{\text{зн}} = 0,048 \text{ м};$
густина води при розрахунковій температурі	$\rho = 995 \text{ кг/м}^3;$
теплоємність води	$c_e = 4180 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$
динамічна в'язкість води	$\mu_e = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$
коефіцієнт теплопровідності води	$\lambda_e = 0,62 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

4.4.4.1 Тепловий баланс

В апараті встановлений перемішуючий пристрій. Теплоносій в трубах – вода з температурою $t = 38 \text{ }^\circ\text{C}$.

Зв'язок між сумарним теплом, що виділяється в процесі зброджування і передається рідкому гною в апараті, можна записати у вигляді основного рівняння теплопередачі [41]:

$$Q = KFp\Delta t_{cp}, \quad (4.26)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); F – площа поверхні теплообміну, м²; Δt_{cp} – середньо-логарифмічна різниця температур рідкого гною і води в трубах.

Тепловий баланс розраховуємо за методикою, представленою в [39]. Теплове навантаження Q визначаємо за формулою:

$$Q = \sum Q(\text{Надходження}) - \sum Q(\text{Витрати}). \quad (4.27)$$

Тепло надходить:

- a) з гноєм - $Q'_{гн}$;
- b) від перемішуючого пристрою – $Q_{пер}$;
- c) теплота реакції – Q_p .

Тепло витрачається:

- a) з АСБ – $Q'_{АСБ}$;
- b) з біогазом – $Q_г$;
- c) з втратами – $Q_{втр}$.

Вище, в енергетичному розрахунку, було розраховано кількість теплоти, що потрапляє з гноєм $G'_{гн}$; $Q'_{гн}$; розраховуємо за формулою:

$$Q'_{гн} = q'_{гн} \cdot G'_{гн} = 23,526 \cdot 72000 = 1694 \text{ МДж}. \quad (4.28)$$

Теплота від перемішуючого пристрою:

$$Q_{пер} = N\tau = 399648 \cdot 60 \cdot 60 = 4387 \text{ МДж}. \quad (4.29)$$

Теплота реакції:

$$Q_p = E_m \cdot G_{ACB} = 13480 \cdot 19010 = 256,3 \text{ МДж.} \quad (4.30)$$

$$\Sigma Q(\text{Надходження}) = Q'_{гн} + Q_{пер} + Q_p = \quad (4.31)$$

$$= 1694 + 4387 + 256,3 = 6337 \text{ МДж.}$$

$$\Sigma Q(\text{Надходження}) = 6337 \text{ МДж.}$$

Теплота від АСБ:

$$Q'_{ACB} = 505,1 \text{ МДж.}$$

Теплота біогазу, що дорівнює теплоті метану:

$$Q_2 = Q'_m = 46,45 \text{ МДж.}$$

Теплота від втрат:

$$Q_{втр} = 0,05 \Sigma Q(\text{Втрати}) = 0,05 (Q'_{ACB} + Q_2) = \quad (4.32)$$

$$= 0,05 (505,1 + 46,45) = 27,578 \text{ МДж.}$$

$$\Sigma Q(\text{Витрати}) = Q'_{ACB} + Q_2 + Q_{втр} = \quad (4.33)$$

$$= 505,1 + 46,45 + 27,578 = 579,128 \text{ МДж.}$$

За (4.40) теплове навантаження:

$$Q = 6337 - 579,128 = 5758 \text{ МДж.}$$

$$Q = 6337 \text{ МДж} = \frac{6337 \cdot 10^6}{21 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 3174 \text{ Вт.}$$

$$Q = 3174 \text{ Вт.}$$

4.4.4.2. Визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі

Коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою [41]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + r_3 + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.34)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від робочого об'єму до труб, Вт/(м²·К);

δ – товщина стінки теплообмінного пристрою, м; λ – теплопровідність матеріалу стінки теплообмінного пристрою, Вт/(м·К); r_3 – термічний опір забруднень, (м²·К)/Вт ($r_3 \approx 1500 - 6000$ (м²·К)/Вт); α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від труб до робочого об'єму, Вт/(м²·К).

4.4.4.3. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі α_2 від труб до робочого об'єму в апараті

Швидкість води в трубах $W_T = 1 \text{ м/с}$ [39]. Тоді для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі α_2 від труб до робочого об'єму в апараті визначаємо критерій Рейнольдса [41]:

$$\text{Re} = \frac{W_T d_{3M} \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,042 \cdot 995}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 5,22 \cdot 10^5. \quad (4.35)$$

Критерій Прандтля для теплоносія – води в трубах розраховуємо за формулою [41]:

$$\text{Pr} = \frac{c_p \mu}{\lambda} = \frac{4190 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}}{0,62} = 6,08. \quad (4.36)$$

Визначаємо критерій Нусельта за формулою [41]:

$$\begin{aligned} Nu &= 0,28 \text{Re}^{0,6} \text{Pr}^{0,36} = \\ &= 0,28 \cdot (1,301 \cdot 10^6)^{0,6} 6,08^{0,36} = 2,5 \cdot 10^3. \end{aligned} \quad (4.37)$$

Знаючи критерій Нусельта, визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α_2 за формулою [41]:

Знаючи критерій Нусельта, визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α_2 за формулою [41]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{3M}} = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot 0,62}{2,042} = 759,06 \left(\frac{Вт \cdot м^2}{К} \right). \quad (4.38)$$

4.4.4.5. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі

Коефіцієнт теплопередачі за формулою (4.47):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + r_3 + \frac{1}{\alpha_2}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{1,546} + 43,011 \cdot 10^{-6} + 2,5 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2030,8}} = 1,548 Вт / м^2 \cdot К.$$

Масову витрату води у трубі G_v розраховуємо за формулою в [42]:

$$G_v = \left[\frac{\pi (d_{вн})^2}{4} \right] \cdot W_T \cdot \rho =$$

$$= \left[\pi (0,042)^2 / 4 \right] \cdot 1 \cdot 995 = 137,782 (кг / с).$$

$$G_v = 137,782 кг / с.$$

Знаходимо температуру на виході із труби $t_{вих}$, враховуючи, що в трубах подається вода з температурою 38°C [39]:

$$Q = n_1 G_v c_v (38 - t_{вих}) =$$

$$= 5 \cdot 11,379 \cdot 4180 (38 - t_{вих}) = 25916 (Вт), \quad (4.40)$$

де $n_1 = 5$ – кількість труб.

Отже, температура на виході із труб:

$$t_{вих} = 38 - \frac{25916}{5 \cdot 25,885 \cdot 4180} = 37,991^{\circ}\text{C}. \quad (4.41)$$

Температурна схема процесу зображена на рисунку 4.3.

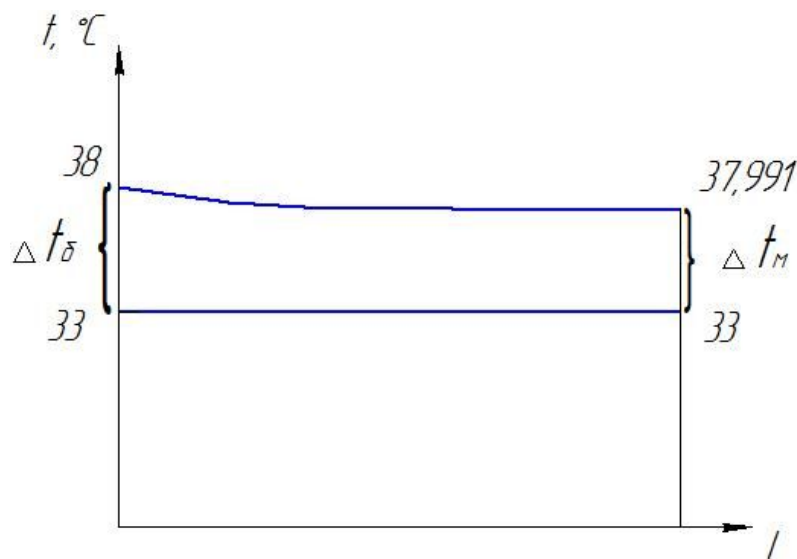


Рисунок 4.3 - Температурна схема процесу

$\Delta t_{\delta} = \Delta t_M \approx 10^{\circ}\text{C}$. Причому $\Delta t_{\delta}/\Delta t_M < 2$. Отже середню різницю температур слід розраховувати за формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_M}{2} \approx 10^{\circ}\text{C}. \quad (4.42)$$

Номінальна поверхня теплообміну представляє собою площу бічної поверхні, в нашому випадку всіх гріючих пристроїв – труб, і вона складає:

$$F_{ном} = F_{mp} = 5F_{mp1}. \quad (4.43)$$

Площу бічної поверхні однієї труби визначаємо за [39]:

$$F_{mp1} = \pi \cdot d_{mp} \cdot L_{mp}, \quad (4.44)$$

де L_{mp} – довжина труби, що розраховується за формулою:

$$L_{mp} = \pi \cdot D_v \cdot n' = \pi \cdot 2 \cdot 5 = 31,4(\text{м}), \quad (4.45)$$

де $n' = 5$ – кількість труб.

Отже, остаточно F_{mp1} :

$$F_{mp1} = 3,14 \cdot 2,38 \cdot 31,4 = 234,7 \text{ м}^2. \quad (4.46)$$

$$F_{mp} = 5F_{mp1} = 5 \cdot 234,7 = 1173 \text{ м}^2. \quad (4.47)$$

$$F_{ном} = 1173 \text{ м}^2.$$

Розрахункова поверхня теплообміну за формулою складає:

$$F_{розр} = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} \approx 1118 \text{ м}^2.$$

$$F_{розр} = 1118 \text{ м}^2.$$

Оскільки $1173 > 1118$, то звідси можна зробити висновок, що площа теплообміну є більшою від потреби, і проведення процесу є технологічно можливим.

4.4.5 Розрахунок розмірів елементів деталей, складальних одиниць, кріпильних засобів та перевірка їх на міцність

Мета розрахунку:

Проводиться розрахунок корпусу, еліптичних днищ, валу перемішуючого пристрою, опор та здійснюється перевірка їх на міцність

Вихідні дані до розрахунку:

матеріал, з якого зроблені основні складальні одиниці апарату	08Х22Н6Т;
матеріал болтів та гайок	Ст30;
матеріал опор	16ГС;
матеріал прокладок	фторопласт;
внутрішній діаметр корпусу	$D = 9,021 \text{ м}.$
коефіцієнт міцності зварного шва	$\varphi_1 = 0,85;$
розрахунковий внутрішній тиск	$P = 1 \text{ кПа}.$

4.4.5.1 Розрахунок циліндричної обичайки метантенка

Розрахунок проводимо за методикою, представленою в [43]. Обичайка навантажена внутрішнім надлишковим тиском. Циліндрична обичайка зображена на рисунку 4.

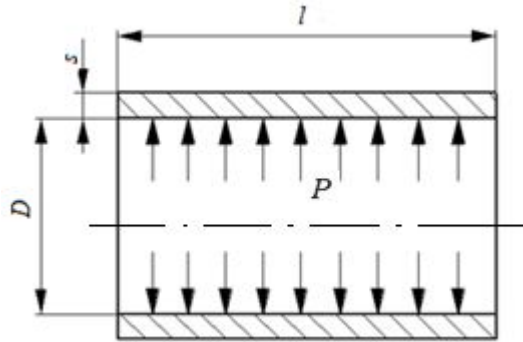


Рисунок 4.4 - Циліндрична обичайка

Розрахункова товщина стінки:

$$s_R = \frac{P \cdot D}{2[\sigma]\phi_1 - P} = \frac{1000 \cdot 9,021}{2 \cdot 233 \cdot 10^6 \cdot 0,85 - 1000} = 2,277 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \quad (4.67)$$

$[\sigma] = 233 \cdot 10^6 \text{ Па}$ – допустиме напруження для марки сталі 08Х22Н6Т при температурі стінки не більше 100°C [44].

Визначаємо товщину стінки циліндричної обичайки s , яка працює під внутрішнім тиском, за формулою:

$$s = s_R + c + c_1 2,277 \cdot 10^{-2} + 1,0 + 19 = 20 \text{ мм} \quad (4.68)$$

Де $c = \Pi \cdot \tau_a = 10^{-4} \cdot 10 = 1 \text{ мм}$ - прибавка на компенсацію корозії (ерозії), $\Pi = 10^{-4} \text{ м/рік}$ – корозійна проникливість, $\tau_a = 10 \text{ років}$ - амортизаційний термін служби апарата; c_1 - прибавка на заокруглення, мм.

Перевіримо чи витримає циліндрична обичайка внутрішній тиск [43]:

$$[P] \geq P, \quad (4.69)$$

де $[P]$ – допустимий тиск на стінку обичайки, МПа.

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_1 \cdot (s - c)}{D / 2 + s - c} =$$

$$= \frac{2 \cdot 233 \cdot 10^6 \cdot 0,85 \cdot (0,02 - 0,001)}{9,021 / 2 + 0,02 - 0,001} = 1,662 \cdot 10^6 \text{ Па.} \quad (4.70)$$

Умова (4.69) виконується:

$$1,662 \cdot 10^6 \text{ Па} > 10^3 \text{ Па.}$$

Значить, обичайка може працювати під даним тиском.

4.4.5.2 Розрахунок еліптичного днища

Розрахунок проводиться за методикою, представленою в [43].

Визначаємо товщину стінки еліптичного днища s_1 , яке працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = s_{1R} + c + c_1, \quad (4.71)$$

де s_{1R} - розрахункова товщина стінки еліптичного днища,

$c = P \cdot \tau_a = 10^{-4} \cdot 10 = 1 \text{ мм}$ – прибавка на компенсацію корозії (ерозії),

$P = 10^{-4} \text{ м/рік}$ – корозійна проникливість, $\tau_a = 10 \text{ років}$ - амортизаційний

термін служби апарата; c_1 - прибавка на заокруглення, мм.

Розрахункову товщину стінки еліптичного днища визначаємо за формулою:

$$s_{1R} = \frac{PD}{2[\sigma]\varphi_1 - 0,5P} = \quad (4.72)$$

$$= \frac{1000 \cdot 9,021}{2 \cdot 233 \cdot 10^6 \cdot 0,85 - 0,5 \cdot 1000} = 2,277 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Остаточно, за (72) товщина стінки еліптичного днища s_1 :

$$s_1 = 2,277 \cdot 10^{-2} + 1,0 + 19 = 20 \text{ мм.} \quad (4.73)$$

Висота днища дорівнює – $h = 0,56 \text{ м.}$ Висота відбортовки – $h_e = 1,8 \text{ м.}$

Еліптичне днище зображене на рисунку 4.5 [45].

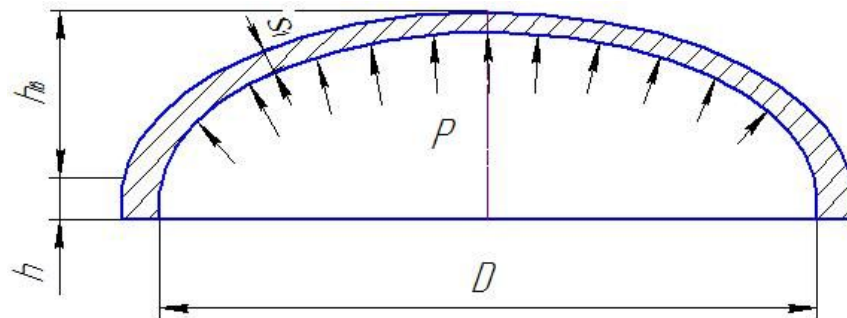


Рисунок 4.5 - Еліптичне днище

Для того, щоб еліптичне днище витримало внутрішній тиск, повинна виконуватись умова [46]:

$$[P]_1 \geq P, \quad (4.74)$$

Де $[P]_1$ - допустимий тиск на стінку днища, Па.

Допустимий тиск на стінку днища розраховуємо за формулою:

$$[P]_1 = \frac{2[\sigma]\varphi_1(s_1 - c)}{D + s_1 - c} = \quad (4.75)$$

$$= \frac{2 \cdot 233 \cdot 10^6 \cdot 0,85 \cdot (0,02 - 0,001)}{9,021 + 0,02 - 0,001} = 8,325 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Перевіряємо виконання умови (4.74):

$$8,325 \cdot 10^5 \text{ Па} \geq 10^3 \text{ Па.}$$

Умова (4.74) виконується, отже днище може працювати під заданим тиском.

Перевіримо чи виконується умова міцності за третьою теорією міцності [36]:

$$\sigma_{11} + \sigma_{13} \leq [\sigma], \quad (4.76)$$

Де σ_{11} - найбільше напруження в днищі, Па; σ_{13} - найменше напруження в днищі, $[\sigma] = 250 \text{ МПа}$ – допустиме напруження.

Найбільше напруження в днищі розраховуємо за формулою [36]:

$$\sigma_{11} = \frac{PD}{2s_1} = \frac{1000 \cdot 9,021}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 2,255 \cdot 10^5 \text{ Па}. \quad (4.77)$$

Найменше напруження в днищі розраховуємо за формулою [36]:

$$\sigma_{13} = -P = -10^3 \text{ Па}. \quad (4.78)$$

Перевіряємо виконання умови (4.76):

$$2,255 \cdot 10^5 - 10^3 < 233 \cdot 10^6.$$

Умова виконується. Отже, товщина стінки днища задовольняє умовам роботи метантенка.

4.4.5.3 Перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень

Розрахунок проводиться за методикою, представленою в [44].

На опору діють: вертикальна сила Q (реакція опори), горизонтальна сила P_1 (перпендикулярна до осі апарату) та горизонтальна сила тертя P_2 (паралельна осі апарату). Розрахункові навантаження в горизонтальному апараті, встановленому на двох сідлових опорах, показані на рисунку 4.6.

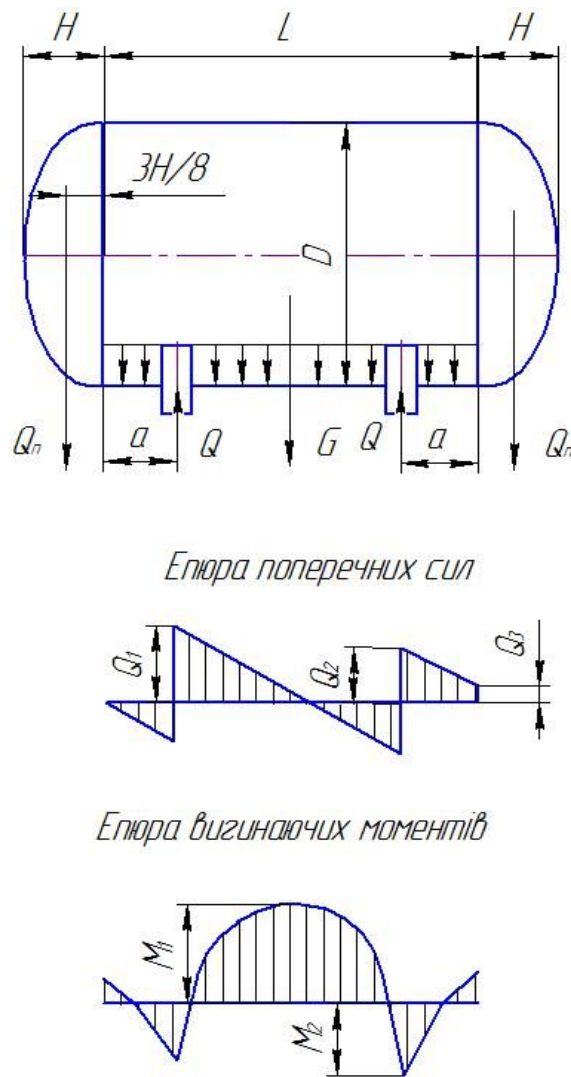


Рисунок 4.6 - Розрахункові навантаження в горизонтальному апараті, встановленому на двох сідлових опорах

Реакція опори для апарату, встановленого на двох опорах:

$$Q = 0,5 \cdot G_{max}, \quad (4.79)$$

де G_{max} – максимальна вага апарату. G_{max} розраховується за формулою:

$$G_{max} = M_{метантенка} \cdot g, \quad (4.80)$$

Тут $M_{метантенка}$ – маса метантенки в робочому стані, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Маса апарату в робочому стані:

$$M_{метантенка} = 1,201 \cdot 10^7 \text{ кг}$$

Максимальна вага апарату становить:

$$G_{max} = 1,201 \cdot 10^7 \cdot 9,8 = 1,177 \cdot 10^8 \text{ Н}.$$

Отже, остаточно, реакція опори для апарату, встановленого на двох опорах буде складати:

$$Q = 0,5 \cdot 1,177 \cdot 10^8 = 5,885 \cdot 10^7 = 58,85 \text{ МН}.$$

Вигинаючий момент в перерізі в середині апарату розраховуємо за формулою:

$$M_1 = Q(f_1 L - a). \quad (4.81)$$

Вигинаючий момент в перерізі над опорою при $z = 2$ (z - кількість опор):

$$M_2 = \frac{Qa}{f_2} \left(1 - a/L + \frac{0,5f_3 D}{a} - f_2 \right), \quad (4.82)$$

f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти, що визначається за графіками в [44] в залежності від параметрів H/D і L/D . Тут $H = h + h_g = 0,56 + 1,8 = 2,36 \text{ м}$ – повна висота днища. $L = 13,05 \text{ м}$ - повна довжина обичайки. $D = 9,021 \text{ м} = 9,021 \text{ м}$ – внутрішній діаметр обичайки і днищ.

За [44] a :

$$a \approx 0,2L = 0,2 \cdot 13,05 = 2,61 \text{ м}. \quad (4.83)$$

$$\frac{H}{D} = \frac{2,36}{9,021} = 0,262 \text{ м}. \quad (4.84)$$

$$\frac{L}{D} = \frac{13,05}{9,021} = 1,447 \text{ м}. \quad (4.85)$$

f_1, f_2, f_3 знаходимо за [44]:

$$f_1 = 0,235.$$

$$f_2 = 1,28.$$

$$f_3 = 0,12.$$

Отже за формулою (4.81) вигинаючий момент в середині апарату:

$$M_1 = 58,85 \cdot 10^6 \cdot (0,235 \cdot 13,05 - 2,61) = 26,88 \text{ МН} \cdot \text{м}. \quad (4.86)$$

За формулою (4.82) вигинаючий момент в перерізі над опорою:

$$M_2 = \frac{58,85 \cdot 10^6 \cdot 2,61}{1,28} \left(1 - 2,61 / 13,05 + \frac{0,5 \cdot 0,12 \cdot 9,021}{2,61} - 1,28 \right) = \quad (4.87)$$

$$= -3,271 \cdot 10^7 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Вигинаючий момент в перерізі над приварною сідловою опорою у випадку її ковзання по опорній плиті визначається за формулою:

$$M_2' = M_2 + 0,08Q(h_1 + h_2), \quad (4.88)$$

Де h_1 і h_2 – висота ребер сідлової опори, див. на рисунку 4.7.

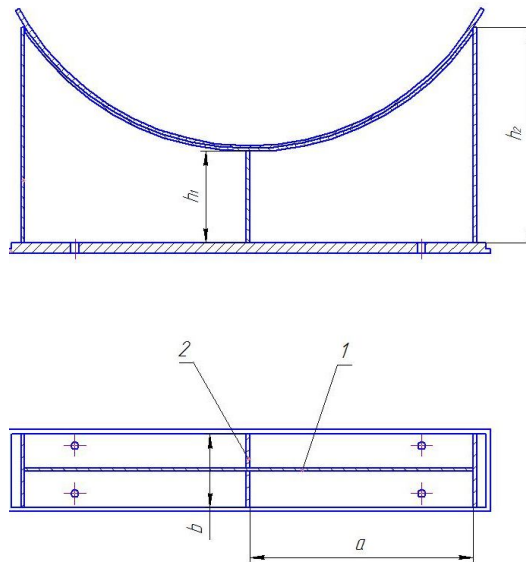


Рисунок 4.7 - Опора сідлова

1 – поздовжнє ребро жорсткості; 2 – поперечне ребро жорсткості.

$$h_1 = 1,602 \text{ м}.$$

$$h_2 = 3,756 \text{ м}.$$

Вигинаючий момент в перерізі над приварною сідловою опорою за формулою (4.88):

$$M_2' = -3,271 \cdot 10^7 + 0,08 \cdot 58,85 \cdot 10^6 \cdot (1,602 + 3,756) = \quad (4.89)$$

$$= -7,485 \cdot 10^6 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Перерізаюча сила для апарата, встановленого на двох опорах:

$$Q_{II} = f_4 Q = 0,78 \cdot 12,15 = 9,477 \text{ МН}. \quad (4.90)$$

де $f_4 Q = 0,78$ - коефіцієнт, що визначається в залежності від параметрів a/L та H/L :

$$\frac{a}{L} = \frac{2,61}{13,05} = 0,2. \quad (4.91)$$

$$\frac{H}{L} = \frac{2,36}{13,05} = 0,181. \quad (4.92)$$

За розрахованими параметрами вибираємо сідлову опору. На опору діють вертикальна сила Q , горизонтальна сила P_1 (перпендикулярна до осі апарату) та горизонтальна сила тертя P_2 (паралельна осі апарату) [44].

Горизонтальна сила (перпендикулярна до осі апарату) визначається за формулою:

$$P_1 = K_{18} Q = 0,32 \cdot 58,85 \cdot 10^6 = 18,83 \text{ МН}. \quad (4.93)$$

Де $K_{18} = 0,32$ – коефіцієнт, що визначається за [44].

Горизонтальна сила тертя (паралельна осі апарату):

$$P_2 = 0,15 Q = 0,15 \cdot 58,85 \cdot 10^6 = 8,828 \text{ МН}. \quad (4.94)$$

де 0,15 – коефіцієнт тертя між апаратом та опорою (або між опорою та опорною плитою).

Площа опорної плити приймається конструктивно та повинна задовольняти умові:

$$F_{II R} = \frac{Q}{[\sigma_{бет}]}, \quad (4.95)$$

де $[\sigma_{бет}]$ – допустиме напруження стиснення бетону фундаменту, приймається в залежності від марки бетону (СНиП В-1-62):

Марка бетону.....	500	300	200
$[\sigma_{бет}]$, МПа.....	10	8	6

Приймаємо $[\sigma_{бет}] = 300 \text{ МПа}$.

Тоді за (4.95) розрахункова площа опорної плити:

$$F_{ПР} = \frac{58,85}{300} = 0,196 \text{ м}^2.$$

Фактична площа опорної плити:

$$F_{П} = 8,419 \cdot 1,421 = 11,963 \text{ м}^2. \quad (4.96)$$

Прийнята площа опорної плити $F_{П} > F_{ПР}; 11,963 \text{ м}^2 > 0,196 \text{ м}^2$. Тоді напруження стиснення бетону визначають за формулою:

$$\sigma_{бет} = \frac{[\sigma_{бет}] F_{ПР}}{F_{П}} = \frac{300 > 0,196}{11,963} = 4,915 \text{ МПа}. \quad (4.97)$$

Розрахункова товщина опорної плити:

$$s_{ПР} = 2,45b \sqrt{K_{19} \sigma_{бет} / (1,1 [\sigma_{П}])}, \quad (4.98)$$

де K_{19} - коефіцієнт, що визначається за [44] в залежності від відношення b/a_1 ; $b = 1,282 \text{ м}$ - ширина поперечних ребер, $a_1 = 3,892 \text{ м}$ - відстань між поперечними ребрами, $[\sigma_{П}] = 470 \text{ МПа}$ - допустиме напруження для матеріалу 16ГС.

$$\frac{b}{a_1} = \frac{1,282}{3,892} = 0,329. \quad (4.99)$$

За [44] коефіцієнт $K_{19} = 0,43$. Отже, остаточно, за формулою (4.98) розрахункова товщина опорної плити дорівнює:

$$s_{II R} = 2,45 \cdot 1,282 \sqrt{0,43 \cdot 4,915 \cdot \frac{10^6}{(1,1 \cdot 470 \cdot 10^6)}} = 0,201 \text{ м.}$$

Виконавча товщина опорної плити за [44]:

$$s_{II} = s_{II R} + c = 0,201 + 0,001 = 0,202 \text{ м.} \quad (4.100)$$

Розрахункова товщина ребра 1, що показане на рисунку 4.8 з умови міцності на вигин та розтяг визначається за формулою:

$$s_{PR} \geq \frac{42P_1}{(1,1[\sigma_{II}] \cdot D)} = \frac{42 \cdot 18,83}{(1,1 \cdot 470 \cdot 9,021)} = 0,17 \text{ м.} \quad (4.101)$$

$$s_{PR} = 170 \text{ мм.}$$

Товщини ребер 1 і 2 слід перевірити на стійкість від дії стискаючого навантаження q .

Навантаження на одиницю довжини ребра:

$$q = \frac{1,2Q}{l_{общ}}, \quad (4.102)$$

тут $l_{общ}$ – загальна довжина усіх ребер на опорі. $l_{общ}$ визначається за формулою:

$$\begin{aligned} l_{общ} &= a_1(m-1) + 2bm = \\ &= 3,892(3-1) + 2 \cdot 1,282 \cdot 3 = 15,476, \end{aligned} \quad (4.103)$$

де $m = 3$ – число ребер на опорі.

За формулою (4.102) навантаження на одиницю довжини ребра:

$$q = \frac{1,2 \cdot 58,85}{15,476} = 4,563 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина ребер з умови стійкості:

$$s_{PR} \geq \frac{q}{[\sigma_{кр}]}, \quad (4.104)$$

де $[\sigma_{кр}]$ – допустиме напруження на стійкість, що приймається з умови:

$$[\sigma_{кр}] = \max \left\{ \sigma_T / 3; \sigma_{кр} / 5 \right\}, \quad (4.105)$$

де $\sigma_T = 290 \text{ МПа}$ границя текучості для матеріалу 16ГС.

Критичне напруження знаходять за формулою:

$$\sigma_{кр} = 3,6E \left(\frac{s_p}{h_2} \right)^2 = 3,6 \cdot 2 \cdot 10^5 \left(\frac{0,17}{3,756} \right)^2 = 1,475 \text{ КПа}. \quad (4.106)$$

$s_{p,m}$ – більше зі значень, знайдених за формулами (106) та (110), $h_2 = 3,756 \text{ м}$ – висота крайнього зовнішнього ребра, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ – модуль пружності для матеріалу 16ГС.

За формулою (4.105):

$$[\sigma_{кр}] = \max \left\{ 96,67 \cdot 10^6; 295 \right\} = 96,67 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

За формулою (4.104):

$$s_{PR} \geq \frac{4,563 \cdot 10^6}{96,67 \cdot 10^6} = 0,047 \text{ м}.$$

Остаточно $s_{PR} = 50 \text{ мм}$.

Умова міцності опори при дії вигинаючої сили P_2 за умови привареної опори:

$$\sigma = \frac{0,5P_2(h_1 + h_2)}{W} \leq \varphi[\sigma], \quad (4.107)$$

де $W = 2 \cdot b \cdot s_p + s_p \cdot 3,2$ – момент опору горизонтального перерізу по ребрах у основи опори;

$$W = 2 \cdot 1,282 \cdot 0,05 + 0,05 \cdot 3,2 = 0,288 \text{ м}^3.$$

За формулою (4.107):

$$\sigma = \frac{0,5 \cdot 8,828 \cdot 10^6 (1,602 + 3,756)}{0,288} = 82,12 \text{ МПа}.$$

$$\varphi[\sigma_{II}] = 0,85 \cdot 470 = 399,5 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо виконання умови (4.107):

$$82,12 \text{ МПа} \leq 399,5 \text{ МПа}. \quad (4.108)$$

Умова міцності виконується.

4.4.5.4 Розрахунок валу перемішуючого пристрою

4.4.5.4.1 Розрахунок валу на вібростійкість

Мета розрахунку:

Задача розрахунку валів механічних перемішуючих пристроїв (МПП) полягає у виборі таких режимів його роботи та таких геометричних параметрів, за яких кутова частота (кутова швидкість) вимушених коливань валу ω знаходилася б в потрібному співвідношенні з частотою його власних коливань.

Власними (вільними) називаються коливання, що виникають в ізольованій системі внаслідок зовнішнього збудження (поштовху), який викликає у точок системи початкові відхилення від положення рівноваги або початкові швидкості, які продовжуються потім завдяки присутності внутрішніх пружних сил, що відновлюють рівновагу [47].

Будь-яка пружна коливальна система в кожний момент часу займає положення в просторі, яке визначається числом незалежних параметрів коливальної системи, які називаються числом ступенів вільності. Так, вал,

масою якого можна знехтувати у порівнянні із зосередженою масою m (див. рисунок 4.8, а), має одну ступінь вільності. Такий самий вал, але з масами m_1 та m_2 (див. рисунок 4.8, б), має два ступеня вільності, оскільки названі тут параметри – переміщення мас m_1 та m_2 по відношенню до положення рівноваги. Вал, масою якого неприпустимо нехтувати у порівнянні з масами m_3 та m_4 (див. рисунок 4.8, в), являє собою систему із нескінченним числом ступенів вільності.

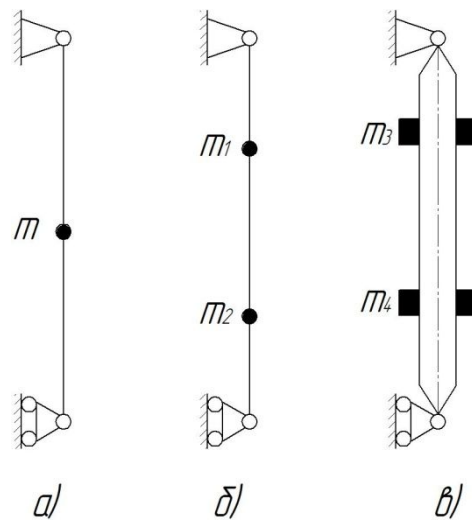


Рисунок 4.8. До визначення числа ступенів свободи коливальної системи (валу МПП)

В нашому випадку вал має одну ступінь вільності. За розрахункову схему валу з перемішуючим пристроєм може бути прийнята балка, яка навантажена тими ж силами та має ті ж самі опори, що й вал, як показано на рисунку 4.9.

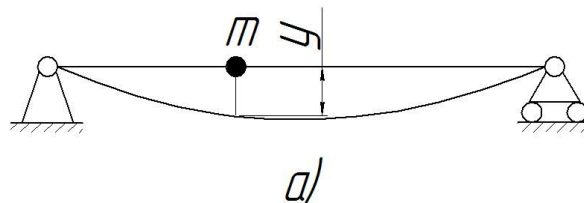


Рисунок 4.9. Розрахункова схема однопрольотного валу

В метантенку встановлений однопрольотний вал. Для розрахунку на мійність враховуємо, що однопрольотний вал, умовно, постійного перерізу, жорсткий, і він закріплений на двох опорах.

Для розрахунку валу перемішуючого пристрою необхідно його принципову схему привести до розрахункової схеми, вказаної на рисунку 4.10. За точку приведення В розподілених і зосереджених мас приймають середину прольоту. При цьому форма вісі вигнутого валу вважається співпадаючою з формою вісі при статичному вигині валу поперечною силою, прикладеною в точці приведення В.

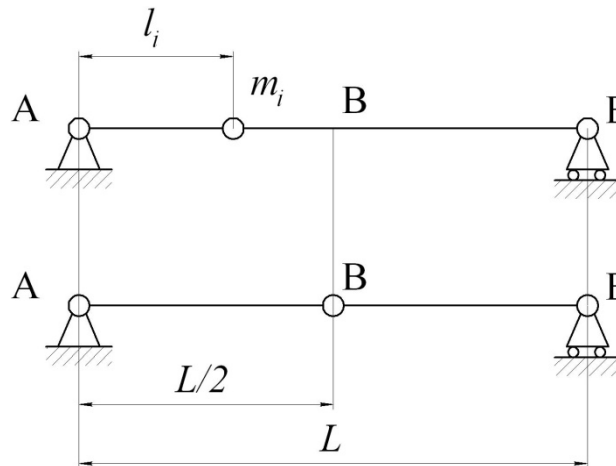


Рисунок 4.10. Принципові схема приведення однопрольотного валу

Розрахунок валу на вібростійкість проводиться методом послідовних наближень. Задача зводиться до розрахунку наближеного значення діаметру вібростійкого валу, кругових (кутових) частот його власних поперечних коливань в повітрі, і перевірки отриманого результату на умову вібростійкості.

Вихідні дані до розрахунку:

довжина порогу	$L = 28500 \text{ мм};$
число мішалок в прольоті	$P_a = 4;$
маси мішалок	$m_1 = m_2 = 15 \text{ кг};$
координати центрів тяжіння мішалок:	$l_1 = 5642 \text{ мм}; l_2 = 10230 \text{ мм};$ $l_3 = 14570 \text{ мм}; l_4 = 19150 \text{ мм}.$
Матеріал, з якого виготовлений вал	08X22H6T.
Густина матеріалу, з якого виготовлений вал	$\rho = 7850 \text{ кг} / \text{м}^3.$

Модуль пружності матеріалу валу	$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па.}$
Частота обертання валу	$n = 0,67 \text{ хв}^{-1}.$
Коефіцієнт, що враховує умову вібростійкості	$\xi = 0,7.$
Коефіцієнт, що враховує умову закріплення валу	$\eta = 48.$
Коефіцієнт приведення маси валу	$q = 0,5.$

Проводимо розрахунок за методикою, представленою в [47].

1) Відносні координати центрів тяжіння мішалок у прольоті:

$$\bar{l}_i = \frac{l_i}{L}. \quad (4.109)$$

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{5642}{28500} = 0,198. \quad (4.110)$$

$$\bar{l}_2 = \frac{l_2}{L} = \frac{10230}{28500} = 0,359. \quad (4.111)$$

$$\bar{l}_3 = \frac{l_3}{L} = \frac{14570}{28500} = 0,511. \quad (4.112)$$

$$\bar{l}_4 = \frac{l_4}{L} = \frac{19150}{28500} = 0,672. \quad (4.113)$$

2) Безрозмірний динамічний прогин у центрі тяжіння мішалок:

$$\bar{y}_{ei} = \sin(\pi \bar{l}_i). \quad (4.114)$$

$$\bar{y}_{e1} = \sin(\pi \bar{l}_1) = \sin(\pi \cdot 0,198) = 0,583. \quad (4.115)$$

$$\bar{y}_{e2} = \sin(\pi \bar{l}_2) = \sin(\pi \cdot 0,359) = 0,903. \quad (4.116)$$

$$\bar{y}_{e3} = \sin(\pi \bar{l}_3) = \sin(\pi \cdot 0,511) = 0,999. \quad (4.117)$$

$$\bar{y}_{e4} = \sin(\pi \bar{l}_4) = \sin(\pi \cdot 0,672) = 0,858. \quad (4.118)$$

3) Кутова швидкість валу, с^{-1} :

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \cdot 0,67}{60 \cdot 30} = 1,169 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}. \quad (4.119)$$

4) Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{8\rho\omega^2 L^2}{\xi^2 \eta E} = \frac{8 \cdot 7850 \cdot (1,169 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 28,5^2}{0,7^2 \cdot 48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 1,411 \cdot 10^{-11}. \quad (4.120)$$

5) Приведена маса мішалок у прольоті, кг:

$$m_{inp} = m_i \bar{y}_{ei}^2. \quad (4.121)$$

$$m_{1np} = m_1 \bar{y}_{e1}^2 = 15 \cdot 0,583^2 = 5,098. \quad (4.122)$$

$$m_{2np} = m_2 \bar{y}_{e2}^2 = 15 \cdot 0,903^2 = 12,231. \quad (4.123)$$

$$m_{3np} = m_3 \bar{y}_{e3}^2 = 15 \cdot 0,999^2 = 14,97. \quad (4.124)$$

$$m_{4np} = m_4 \bar{y}_{e4}^2 = 15 \cdot 0,858^2 = 11,042. \quad (4.125)$$

6) Сума приведених мас мішалок, кг:

$$m_{np} = \sum_{i=1}^{n_d} m_{inp}. \quad (4.126)$$

$$m_{np} = \sum_{i=1}^4 (m_{1np} + m_{2np} + m_{3np} + m_{4np}) = \quad (4.127)$$

$$= 5,098 + 12,231 + 14,97 + 11,042 = 43,341 \text{ кг}.$$

7) Підкореневі одночлени:

$$A_1 = qfL^2 = 0,5 \cdot 1,411 \cdot 10^{-11} \cdot 28,5^2 = 5,73 \cdot 10^{-9}. \quad (4.128)$$

$$A_2 = \frac{8m_{np}Lf}{\pi\rho} = \quad (4.129)$$

$$= \frac{8 \cdot 43,341 \cdot 28,5 \cdot 1,411 \cdot 10^{-11}}{\pi \cdot 7850} = 5,654 \cdot 10^{-12}.$$

8) Розрахунковий діаметр валу, м:

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} =$$

$$= \sqrt{5,73 \cdot 10^{-9} + \sqrt{(5,73 \cdot 10^{-9})^2 + 5,654 \cdot 10^{-12}}} = 1,544 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.130)$$

9) Маса 1м довжини валу, кг:

$$m_L = \frac{\pi d_p^2 \rho}{4} = \frac{\pi (1,544 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7850}{4} = 0,015 \text{ кг.} \quad (4.131)$$

10) Відносна приведена маса деталей:

$$\bar{m}_{np} = \frac{m_{np}}{m_L L} = \frac{43,341}{0,015 \cdot 28,5} = 101,382. \quad (4.132)$$

За [47]:

$$\alpha = f(\bar{m}_{np}) = f(101,382) = 2,18.$$

12) Момент інерції перетину валу, м^4 :

$$J = \frac{\pi d_p^4}{64} = \frac{\pi (1,544 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 2,79 \cdot 10^{-13} \text{ м}^4. \quad (4.133)$$

13) Перша критична кутова швидкість, с^{-1} :

$$\omega_{kp1} = \left(\frac{\alpha}{L} \right) 2 \sqrt{\frac{EJ}{m_L}} = \left(\frac{2,18}{28,5} \right) 2 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,79 \cdot 10^{-13}}{0,015}} = 0,151 \text{ с}^{-1}. \quad (4.134)$$

14) Умова вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{kp}} \leq 0,7. \quad (4.135)$$

$$\frac{1,169 \cdot 10^{-3}}{0,151} = 7,742 \cdot 10^{-3}.$$

Умова виконується. Розрахунковий діаметр витримує задані навантаження. В нашому перемішуючому пристрої діаметр пустотілого валу складає 623 мм. Отже вал вібростійкий до заданих навантажень.

4.4.5.4.2 Розрахунок валу на міцність

Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою (МПП) на міцність – перевірочний і виконується після визначення діаметра валу за умовою вібростійкості. Розрахунок здійснюється за методиками, представленими в [48], [49]. У процесі роботи на вал діють навантаження:

а) крутний момент, який виникає від реакції середовища, що перемішується, яка прикладена до робочих органів мішалки;

б) відцентрові сили зосереджених мас мішалок і неперервно-розподіленої маси валу, які з'являються внаслідок неспівпадання центрів цих мас з віссю обертання;

в) в додаток до навантажень з пунктів “а” і “б” в апаратах із вбудованими внутрішніми пристроями (обігрівальні елементи, патрони для термопар, труби для передавлювання рідини) до лопатей мішалок прикладена поперечна гідродинамічна сила.

Причини неспівпадінь вісі обертання і центрів мас, що обертаються, які називаються динамічними зміщеннями, наступні:

- присутність радіальних зазорів в підшипниках верхньої та нижньої опори;

- початкова вигнутість вісі валу внаслідок похибок в технології виготовлення;

- технологічно неминучі ексцентриситети посадки зосереджених мас деталей (муфт, мішалок и т.п.) на шийки валу;

- наявність динамічних похибок валу.

Як правило, концентрації напружень, особливо небезпечні в умовах знакозмінних навантажень.

прольоту; L_2 – загальна довжина валу; z_k – координати перерізів валу, що досліджується в прольоті; Δ_A, Δ_B – радіальні зазори в підшипниках; Δ_{zk}, Δ_{li} – зміщення відповідно будь-якого перерізу валу і будь-якого центру мас деталей в прольоті, викликані радіальними зазорами в підшипниках; $\varepsilon_{zk}, \varepsilon_{li}$ – зміщення відповідно будь-якого перерізу валу і будь-якого центру мас деталей в прольоті, викликані початковою вигнутістю валу; y_{zk}, y_{li} – динамічні прогини, відповідно, будь-якого перетину валу і будь-якого центру мас деталей в прольоті; l_i – ексцентриситет посадки деталі на вал в прольоті; Δ_B, ε_B – зміщення перетину валу в точці приведення, викликані відповідно зазорами в підшипниках та початковим вигином валу; y_B – динамічний прогин вала в точці приведення; Q_i – поперечна гідродинамічна сила, яка діє на деталь в прольоті в апаратах зі вбудованими внутрішніми пристроями; F_{iQ} – відцентрова сила, яка викликана сумарними динамічними зміщеннями деталей в прольоті; F_{Bnp} – приведена відцентрова сила власної маси валу в точці приведення (для апаратів зі вбудованими внутрішніми пристроями цю силу необхідно позначати F_{BnpQ}); R_A, R_B – реакція опор.

Методика розрахунків: $\Delta_{zk}, \Delta_{li}, \Delta_A, \Delta_B, \varepsilon_{zk}, \varepsilon_{li}, y_{zk}, y_{li}, y_B, Q_i, A_{zk}, A_{z1s}, A_{li}, A_{l1i}, A_{BQ}$ подана в [49].

Вихідні дані до розрахунку:

довжина валу	$L = 28,5 \text{ м};$
число елементів на валу (крім мішалок)	$n_d = 5;$
число мішалок	$n_m = 4;$
координати центрів тяжіння мішалок:	$l_1 = 5642 \text{ мм}, l_2 = 10230 \text{ мм},$ $l_3 = 14570 \text{ мм}, l_4 = 19150 \text{ мм}.$
Маси мішалок	$m_1 = m_2 = 15 \text{ кг}$
діаметр вала	$d = 0,62 \text{ м};$
приведена маса валу	$\bar{m}_{np} = 101,382 \text{ кг};$
кутова швидкість обертання валу	$\omega = 1,169 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1};$
потужність, що затрачається мішалками на перемішування	$N = 3893 \text{ Вт};$

допустиме напруження для марки сталі 08Х22Н6Т при температурі стінки не більше 100°C [44]

$$[\sigma] = 233 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

мінімальний запас міцності на витривалість

$$n_{\min} = 1,5.$$

Поперечна гідродинамічна сила, що діє на мішалку – $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_2$, в Н. Сумарне динамічне зміщення валу в точці приведення A_{BQ} , в м. Сумарне динамічне зміщення розрізу вала в центрах мас мішалок – $A_{l1}, A_{l2}, A_{l3}, A_{l4}$, в м.

За методикою, представленою в [48] визначаємо поперечну силу, що діє на мішалку. Поперечну силу Q_i визначають методом гідродинамічного розрахунку апарату, що враховує тип мішалки, коефіцієнти лобового опору мішалки – ξ_t і внутрішніх пристроїв – ψ_Q , гутини середовища, в нашому випадку рідкого гною – $\rho_{гн} = 1450 \text{ кг/м}^3$, кутової швидкості $\omega = 1,169 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ і діаметра мішалки – $d_t = 8,466 \text{ м}$.

Поперечну силу розраховуємо за формулою:

$$Q_i = 0,015 k_Q \xi_t \psi_Q \rho_c \omega^2 d_t^4. \quad (4.136)$$

Тип мішалки вибирають з урахуванням коефіцієнта k_Q : для лопатевої, мішалки – $k_Q = 1$.

Як видно з гідромеханічного розрахунку:

$$\xi_t = 3,277.$$

$$K_N = 46,382.$$

$$N_w = 2,078 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт лобового опору внутрішнього устрою (безрозмірна поперечна гідродинамічна сила) ψ_Q знаходять за графіком (рисунок 4.12) в залежності від відносного зміщення центру епюри кільцевої швидкості від осі мішалки S_v і гідродинамічного параметра ψ_0 .

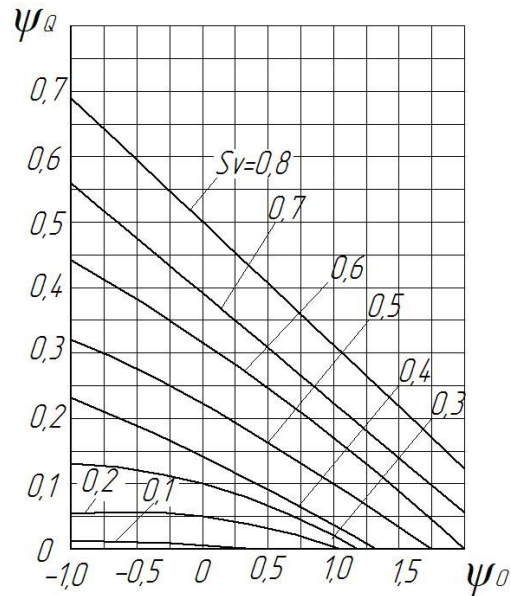


Рисунок 4.12 – Залежність для визначення відносної поперечної гідродинамічної сили, діючої на мішалку, $\psi_Q = f(S_V, \psi_0)$

Функція $S_V = f(\psi_Q, C_N)$ показана на рисунку 4.13, де

$$C_N = \beta_F F \left(\frac{k_Q^{Nn}}{K_N} - 1 \right) + 1. \quad (4.137)$$

C_N – коефіцієнт збільшення потужності.

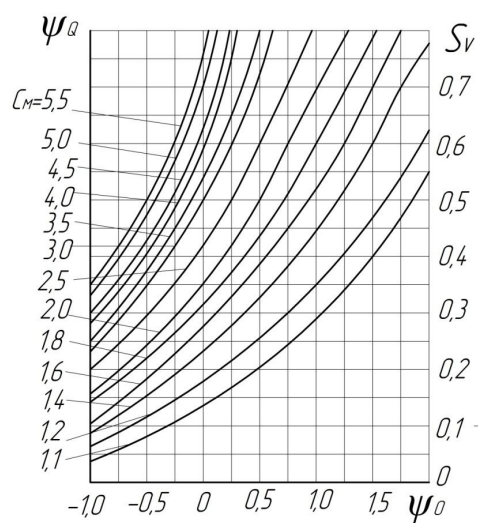


Рисунок 4.13 – Залежність для визначання відносного зсуву центра епюри колової швидкості від осі мішалки, $S_V = f(\psi_Q, C_N)$

Поправочний коефіцієнт $\beta_f = f\left(C_F = 2,5 \frac{F}{D^2}\right)$ визначають за графіком (рисунок 4.14), де F - площа лобового перерізу внутрішнього устрою; $D = 9,021 \text{ м}$ - внутрішній діаметр апарату.

$$C_F = 2,5 \frac{F}{D^2} = 2,5 \frac{950,235}{9,021^2} = 29,192 \quad (4.138)$$

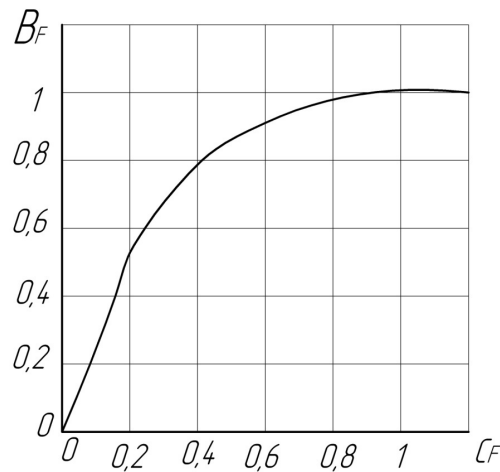


Рисунок 4.14 – Залежність для визначення поправочного коефіцієнта збільшення потужності для апаратів з внутрішніми пристроями, $\beta_F = f(C_F)$

$$\beta_f \approx 0,9.$$

Гідродинамічний параметр ψ_0 розраховують за графіками (рисунок 15) як функцію $\psi_0 = f(\Gamma_D; \Phi)$, де $\Gamma_D = D / d_m = 9,021 / 8,466 = 1,066$ - симплекс геометричної подібності, Φ - безрозмірний комплекс, який характеризує гідродинамічний режим потоку в апараті:

$$\Phi = \frac{0,36 \Gamma_D}{\xi_t n \text{Re}_y^{0,25}}. \quad (4.139)$$

де $n = 0,011 \text{ с}^{-1}$, Re_y – відцентровий критерій Рейнольдса, $\mu_c = \mu = 1,55 \text{ Па} \cdot \text{с}$;

$$\text{Re}_y = \rho_c n d_m^2 / \mu_c = 1450 \cdot 0,011 \cdot 8,466^2 / 1,55 = 737,54. \quad (4.140)$$

За формулою (4.139):

$$\Phi = \frac{0,36 \cdot 1,066}{3,277 \cdot 0,011 \cdot 737,54} = 0,014.$$

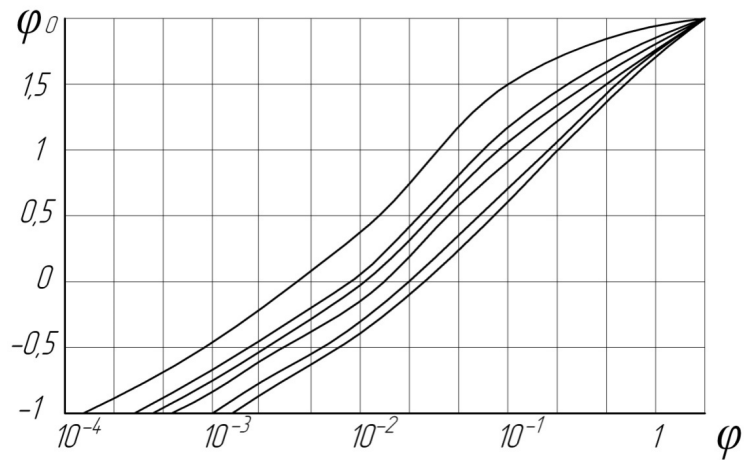


Рисунок 4.15 – Залежність для визначення гідродинамічного

параметра, $\psi = f(\Gamma_D; \Phi)$

$$\psi_0 = 0,2.$$

$$C_N = \beta_F F \left(\frac{k_Q^{Nn}}{K_N} - 1 \right) + 1 =$$

$$= 0,9 \cdot 950,235 \left(\frac{1 \cdot 2078 \cdot 0,011}{46,382} - 1 \right) + 1 = -432,746. \quad (4.141)$$

$$\psi_Q = 0,1.$$

$$Q_i = 0,015 k_Q \xi_t \psi_Q \rho_c \omega^2 d_m^4. \quad (4.142)$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \quad (4.143)$$

$$= 0,015 \cdot 1 \cdot 3,277 \cdot 0,1 \cdot 1450 \cdot \left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)^2 8,466^4 = 0,05 H.$$

Використовуючи метод приведення, визначаємо поперечну силу Q_{np} , прикладену в точці приведення В для прольоту однопрольотного валу:

$$Q_{np} = \sum_{i=1}^{n\partial} (Q_i \cdot l_i) =$$

$$= 4 \cdot 0,05 (5,642 + 10,23 + 14,57 + 19,15) = 9,918. \quad (4.144)$$

де Q_i , - поперечна сила, прикладена відповідно до i -ї мішалки в прольоті.

Динамічний прогин в точці приведення В від дії Q_{np} :

$$y_{BQ} = \frac{Q_{np}}{k_Q} = \frac{9,918}{1} = 9,918 \text{ м.} \quad (4.145)$$

$$A_i = \frac{y_{BQ}}{l_i}. \quad (4.146)$$

$$A_1 = \frac{9,918}{5,642} = 1,758.$$

$$A_2 = \frac{9,918}{10,23} = 0,97.$$

$$A_3 = \frac{9,918}{14,57} = 0,681.$$

$$A_4 = \frac{9,918}{19,15} = 0,518.$$

$$A_B = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 =$$

$$= 1,758 + 0,97 + 0,681 + 0,518 = 3,927.$$

$$A_{BQ} = A_B + y_{BQ} = 3,927 + 9,918 = 13,845.$$

За методикою [49]:

1) Зосереджена сила (в тому числі і доцентрова), що діє на мішалку, Н:

$$F_{Q_i} = Q_1 + m_1 \omega^2 A_i. \quad (4.147)$$

$$F_{Q_1} = 0,05 + 15 \left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 1,758 = 0,05 \text{ Н.}$$

$$F_{Q_2} = 0,05 + 15 \left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 0,97 = 0,05 \text{ Н.}$$

$$F_{Q_3} = 0,05 + 15 \left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 0,681 = 0,05 \text{ Н.}$$

$$F_{Q_4} = 0,05 + 15 \left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 0,518 = 0,05 \text{ Н.}$$

2) Зведена доцентрова сила обертання маси валу, Н:

$$\bar{m}_{np} = 101,382.$$

$$F_{bQ} = \bar{m}_{np} \omega^2 A_{bQ} =$$

$$= 101,382 \left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 13,845 = 1,918 \cdot 10^{-3} \text{ Н.} \quad (4.148)$$

3) Реакція опори, Н:

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= \left[\sum_{i=1}^{n_D} F_i l_i + \frac{1}{n} + \sum_{i=n_D+1}^{n_D+n_M} F_{Qi} (L - l_i) \right] / L + F_{bQ} / 2 = \\ &= \left[(60 \cdot 12,398) + \left(\frac{1}{0,011} \right) + 0,05 \cdot 16,12 \right] / 28,5 + \\ &\quad + \left(1,918 \cdot 10^{-3} \right) / 2 = 29,32 \text{ Н.} \end{aligned} \quad (4.149)$$

4) Згинаючий момент в небезпечних за міцністю перерізах між точками А і Б, Н·м:

$$\begin{aligned} M_{zk} &= R_A Z_k - \sum_{i=n_D+1}^{n_D+n_M} F_{Qi} (Z_k - l_i) = \\ &= 29,32 \cdot 13,6 - 4 \cdot 0,05 \cdot 1,202 = 398,512 \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned} \quad (4.150)$$

5) Крутний момент в небезпечних за міцністю перерізах, Н·м:

$$M_{kpZk} = \omega^{-1} N = \frac{3893}{\left(1,169 \cdot 10^{-3} \right)} = 3,33 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.151)$$

6) Момент опору в небезпечних за міцністю перерізах валу, Н·м:

$$W_{Zk} = \frac{\pi d_M^3}{32} = \frac{\pi \cdot 8,466}{32} = 0,831 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.152)$$

7) Еквівалентне напруження в небезпечних за міцністю перерізах, Па:

$$\sigma_{Zk}^{III} = \frac{\sqrt{M_{zk} + M_{kpZk}}}{W_{Zk}} = \frac{\sqrt{398,512 + 3,33 \cdot 10^6}}{0,831} = 2,196 \cdot 10^3 \text{ Па}. \quad (4.153)$$

8) Допустиме напруження на міцність в небезпечних перерізах, МПа:

$$\xi_t = 3,277.$$

$$[\sigma_{ZIS}] = \frac{\xi_t [\sigma]}{k_Q^n} = \frac{3,277 [233 \cdot 10^6]}{1 \cdot 0,011} = 6,941 \cdot 10^{10} \text{ Па}. \quad (4.154)$$

9) Умова міцності:

$$\sigma_{Zk}^{III} \leq [\sigma_{ZIS}]. \quad (4.155)$$

$$2,196 \cdot 10^3 \leq 6,941 \cdot 10^{10}.$$

Умова міцності виконується, діаметр валу збільшувати не треба.

4.4.5.5. Вибір штуцерів

Вибір штуцерів здійснюємо за методиками, представленими в [43], [44] вибираємо штуцера з фланцями сталевими плоскими приварними:

Штуцер А для відбору газу:

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 150$ мм;
- умовний тиск – 0,25 МПа;
- вильот штуцера – 190 мм.

Штуцер Б для підведення субстрату:

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 670$ мм;
- умовний тиск – 0,6 МПа;

- вильот штуцера – 1290 мм.

Штуцер В для датчика заміру рівня рідини в апараті:

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 250$ мм;
- умовний тиск – 0,6 МПА;
- вильот штуцера – 165 мм.

Штуцер Г для клапана запобіжного:

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 150$ мм;
- умовний тиск – 0,25 МПА;
- вильот штуцера – 190 мм.

Штуцер Д для підводу води для нагрівання:

- кількість – 5;
- умовний прохід $D_y = 195$ мм;
- умовний тиск – 0,6 МПА;
- вильот штуцера – 615 мм.

Штуцер Е для відводу води для нагрівання:

- кількість – 5;
- умовний прохід $D_y = 165$ мм;
- умовний тиск – 0,6 МПА;
- вильот штуцера – 335 мм.

Штуцер Ж для відведення відпрацьованого субстрату:

- кількість – 2;
- умовний прохід $D_y = 1175$ мм;
- умовний тиск – 0,25 МПА;
- вильот штуцера – 160 мм.

Штуцер З для датчика заміру температури:

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 250$ мм;
- умовний тиск – 0,6 МПА;

- вильот штуцера – 165 мм.

Штуцер І для датчика заміру тиску:

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 50$ мм;
- умовний тиск – 0,25 МПа;
- вильот штуцера – 190 мм.

Вибираємо стандартний люк Л за [44] (Тип 1):

- кількість – 1;
- умовний прохід $D_y = 1100$ мм;
- умовний тиск – 0,3 МПа;
- вильот штуцера – 695 мм.

4.4.5.6. Розрахунок теплової ізоляції

Мета розрахунку:

Визначення необхідної товщини теплової ізоляції метантенка. Розрахунок проводиться за методикою, представленою в [44].

Теплова ізоляція – один з основних методів зменшення втрат теплоти і економії палива. З точки зору охорони праці і техніки безпеки термоізоляція є ефективним засобом для зниження температури в приміщеннях і захисту обслуговуючого персоналу від опіків. Товщина ізоляції має бути такою, щоб температура на її поверхні не перевищувала 50°C . Втрати тепла на 1 м^2 зовнішньої поверхні при температурі 200°C не повинні перевищувати 174 Вт/м^2 . Коефіцієнт теплопровідності має лежати в межах $\lambda_{iz} = 0,35 - 0,12\text{ Вт/м} \cdot (^\circ\text{C})$. Ізоляція повинна бути термостійкою, тобто витримувати температурні коливання без зміни структури. Ізоляція має бути безпечною в пожежному відношенні, довговічною і дешевою [44].

Для циліндричної поверхні товщину ізоляції можна визначити з рівності:

$$\frac{d_2}{d_1} \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{2\lambda(t_1 - t)}{\alpha_1 d_1 (t_1 - t)}, \quad (4.156)$$

де d_1, d_2 - зовнішній діаметр відповідно апарату і ізоляції, в метрах.
 $d_2 = d_1 - \delta_i$; δ_i - товщина стінки ізоляції, м; t_1 - температура під ізоляцією, приймаємо рівною найвищій температурі теплоносія (37°C); t_2 - температура навколишнього середовища, приймаємо $t_2 = 20^\circ \text{C}$; $t = 28^\circ \text{C}$ за [44] - температура на поверхні ізоляції; λ - коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, для ізоляції вибираємо совеліт (85% магнезії+15% асбеста), який має коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,09 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$; α'_1 - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції в навколишнє середовище.

α'_1 визначається за формулою [44]:

$$\alpha'_1 = 9,3 + 0,058t. \quad (4.157)$$

$$\alpha'_1 = 9,3 + 0,058 \cdot 50 = 11,33 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}).$$

Підставляючи різні величини товщини ізоляції в формулу визначаємо необхідну товщину:

$$\delta_i = 0,01 \text{ м.}$$

$$d_1 = 9,021 + 2 \cdot 0,02 = 9,061 \text{ м.}$$

$$d_2 = 9,061 + 2 \cdot 0,01 = 9,083 \text{ м.}$$

$$\frac{9,111}{9,061} \ln \frac{9,111}{9,061} = \frac{2 \cdot 0,09(37 - 28)}{11,33 \cdot 9,061(28 - 20)}.$$

$$2 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3}.$$

Отже вибрана товщина ізоляції задовольняє умовам проведення процесу в апараті.

4.4.5.7 Гідравлічний розрахунок метантенка

Мета гідравлічного розрахунку:

Метантенк оснащений п'ятьма зміювниками, в які подається гарячий теплоносіє – вода. Циркуляція води в зміювнику забезпечується роботою відцентрового насоса. Гідравлічний розрахунок апарату має на меті визначити різницю гідродинамічних напорів на виході та на вході насоса. В розрахунок визначають потужність двигуна для насоса. За знайденими робочими параметрами вибирається стандартний насос.

Вихідні дані для розрахунку:

розрахункова температура води в трубах	$t = 38^{\circ}\text{C}$
коефіцієнт динамічної в'язкості теплоносія	$\mu_{\text{в}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} ;$
густина теплоносія за розрахункової температури	$\rho_{\text{в}} = 995 \text{ кг} / \text{м}^3 ;$
абсолютні тиски води на прийомі та на виході насоса	$P_{\text{н}} = 0,110^6 \text{ Па} ,$ $P_{\text{в}} = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па} ;$
висота ліній всмоктування (прийому) та нагнітання (виходу)	$H_{\text{н}} = 0,5 \text{ м},$ $H_{\text{в}} = 2 \text{ м}.$

Основним робочим органом центробіжного насоса є робоче колесо, посажене на вал. Робоче колесо представляє собою два диски, з'єднані рядом поперечних перегородок, що називають лопатками. Лопатки можуть бути різної форми. Частіше використовують лопатки, загнуті в сторону, зворотню напрямку обертання колеса [50].

Розрахунок проводиться за методикою, представленою в [51]. Повний, або диференціальний, напір ΔP , що створюється робочим колесом реального насоса, представляє собою фактичну різницю гідродинамічних напорів рідини на виході ΔP_1 та на прийомі ΔP_2 насоса:

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = \left(H_{\text{в}} - \frac{P_{\text{в}}}{\rho} + \frac{u_{\text{в}}^2}{2g} \right) - \left(H_{\text{н}} + \frac{P_{\text{н}}}{\rho} + \frac{u_{\text{н}}^2}{2g} \right), \quad (4.158)$$

де $H_{\text{н}} = 0,5 \text{ м}$, $H_{\text{в}} = 2 \text{ м}$, $P_{\text{н}} = 0,110^6 \text{ Па}$, $P_{\text{в}} = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$;

$\rho = 995 \text{ кг/м}^3$ - густина перекачуваної рідини; $u_{\text{н}}$ - швидкість руху рідини на прийомі та $u_{\text{в}}$ на виході з насосу, м/с.

Швидкості руху вибираємо з таблиці рекомендованих значень швидкостей [51] за значенням кінематичної в'язкості води, що перекачується:

$$\nu_{\text{в}} = \mu_{\text{в}} / \rho_{\text{в}} = 0,8 \cdot 10^{-3} / 995 = 0,804 \text{ м}^2 / \text{с}. \quad (4.159)$$

Тоді:

$$u_{\text{рек}}^{\text{н}} / u_{\text{рек}}^{\text{в}} = \frac{1,2}{1,1}. \quad (4.160)$$

Остаточно визначаємо напір ΔP :

$$\Delta P = \left(60 - \frac{510^3}{995} + \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} \right) - \left(1 + \frac{110^3}{995} + \frac{1,2^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 52,958 \text{ м}. \quad (4.161)$$

$$\Delta P = 52,958 \text{ м}.$$

Продуктивність (подача) G (м³/с, м³/год, л/с) та напір реального насосу залежать від ряду факторів, в тому числі від форми, розмірів та числа обертів n робочого колеса. Для даного насосу при постійній n величина G є функцією повного напору і обирається за робочими характеристиками вибраного центробіжного насосу по [51]. Залежність $\Delta P = f(G)$ – основна характеристика центробіжного насосу. Цю залежність при $n = \text{const}$ знаходять в процесі випробування насосу, змінюючи ΔP та G поступовим привідкриванням засову на лінії нагнітання.

$$G = 13,5 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Тоді знаючи необхідні параметри роботи насосів за таблицею для робочих характеристик центробіжних насосів вибираємо марку насосу.

Корисну (гідравлічну) потужність $N_{пол}$ (кВт) насосу розраховують за формулою:

$$N_{пол} = G\rho_T g\Delta P / 1000 = \quad (4.162)$$

$$= G\rho g\Delta P / 1000 = (13,463 \cdot 995 \cdot 9,81 \cdot 52,958) / 1000 = 6,959 \text{ кВт}.$$

$$N_{пол} = 6,959 \text{ кВт}.$$

Потужність на валу насосу N_{ϵ} (кВт) відповідає потужності, що використовується насосом:

$$N_B = \frac{N_{пол}}{\eta_B} = \frac{6,959 \cdot 10^3}{0,7} = 9,941 \text{ кВт}, \quad (4.163)$$

$$N_B = 9,941 \text{ кВт}.$$

де η_B – повний ККД насосу, що дорівнює 0,6 – 0,8. Вибираємо $\eta_B = 0,7$.

За [51] вибираємо стандартний центробіжний насос – ЦНС 38-66. Цей насос має синхронну частоту обертання 53 с^{-1} (3000 об/хв). ККД насосу не перевищує 67 %.

Потужність двигуна $N_{дв}$ (кВт) складає:

$$N_{дв} = \frac{N_B}{\eta_{II}} = \frac{9,941 \cdot 10^3}{1} = 9,941 \cdot 10^3 \text{ кВт}, \quad (4.164)$$

де η_{II} – ККД передачі від двигуна до насосу (при безпосередньому з'єднанні насосу з двигуном $\eta_{II} = 1$).

Знаючи необхідну потужність електродвигуна та марку центробіжного насосу вибираємо стандартний електродвигун [51]. Приймаємо орієнтовно ККД насосу - $\eta_{нас} = 0,65$. Тоді тиск, що розвивається насосом складе:

$$p = \rho_T \Delta P g = 995 \cdot 52,958 \cdot 9,81 = 0,517 \text{ МПа}. \quad (4.165)$$

Потужність електродвигуна розраховується за формулою:

$$N_{дв} = \frac{1,1 G p \cdot 10^{-3}}{\eta_{нас} \eta_{II}} = \frac{1,1 \cdot 13,463 \cdot 0,517 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{0,69 \cdot 1} = 1,178 \text{ кВт}. \quad (4.166)$$

Вибираємо по каталогу електродвигун серії 4АМ80В4 зі ступенем захисту ІР44 (самовентиляція), $N_{ДВ} = 1,5$ кВт, частота обертання 25 с^{-1} . 4 – номер серії електродвигуна. А - тип електродвигуна. М – умовний установочний розмір по довжині станини; 80В – довжина сердечника статора, 4 – категорія розміщення за ГОСТ 15150-69.

Потужність N (кВт), що витрачається самим двигуном, дорівнює:

$$N = N_{ДВ} / \eta_{общ}, = 1,5 \cdot 10^3 / 0,539 = 2,783 \text{ кВт}. \quad (4.167)$$

Де $\eta_{общ}$ - загальний ККД всього насосного агрегату, що визначається з виразу:

$$\eta_{общ}, = \eta_B \eta_{П} \eta_{ДВ} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,77 = 0,539. \quad (4.168)$$

У зв'язку з можливими перевантаженнями фактичну потужність двигуна $N'_{ДВ}$ приймають трохи більшою на величину коефіцієнта запасу:

$$N'_{ДВ} = \chi N_{ДВ} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 1,8 \text{ кВт}, \quad (4.169)$$

де $\chi = 1,2$ - коефіцієнт запасу.

Тоді остаточно потужність N (кВт), що витрачається самим двигуном, дорівнює:

$$N = N'_{ДВ} / \eta_{общ}, = 1,8 \cdot 10^3 / 0,539 = 3,34 \text{ кВт}. \quad (4.170)$$

Отже остаточно вибираємо насос – ЦНС 38-66. Тут 38 – тип насосу, 66 – напір насосу.

4.5 Висновки

1. У даному розділі була розроблена апаратурно-технологічна схема біогазової установки.

2. На основі аналізу літературних джерел та патентного пошуку було обрана горизонтальна конструкція анаеробного реактора. Запропонована конструкція відрізняється тим, що перемішу вальний пристрій складається з

чотирьох секцій, виготовлених з вертикальних і горизонтальних трубок, в які подається теплоносії через нерухому трубку заведену в порожнистий вал з отворами під трубки і пробками, переточними патрубками і кільцями для ущільнення. Це дозволяє збільшити швидкість утворення метану та скоротити необхідний час перебування субстрату в анаеробному реакторі.

3. Були проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції біореактора.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Резюме

Бізнес-ідея: виробництво нетрадиційних енергоносіїв.

Мета наукової розробки – отримання біогазу для використання в індивідуальних селянських і фермерських господарств.

Завдання, передбачене інноваційною розробкою – це заповнення нової підприємницької ніші з отримання біогазу шляхом переробки відходів тваринництва..

Назва розробки: «Метантенк».

Суб'єкт замовлення: «ЗОВ Біогаз Україна» ТОВ

Об'єкт дослідження – анаеробний реактор для виробництва біогазу

Місце розробки в інноваційному ланцюжку цінності: дана бізнес-ідея знаходиться на етапі розробки, оскільки в Україні практично відсутня методика вибору та розрахунку біогазових біореакторів, тому теоретичні та експериментальні дослідження конструкцій анаеробних біореакторів для виробництва біогазу з метою інтенсифікації метанового зброджування є актуальною науковою задачею.

Продукт наукової розробки: біореактор

Технологія: Гній із свиноферми ручним завантаженням подається у змішувач, де його перемішують до однорідного гомогенного стану. Змішувач оснащений перемішуючим пристроєм, розміщеним під певним кутом. Таке розміщення запобігає утворенню воронки. Після набуття однорідного гомогенного стану гній перекачується насосами до метантенків. В метантенках здійснюється мікробіологічний, технологічний та хімічний контроль.

Доступність сировинної бази: на території України наявні технології виробництва та сировинна база у достатній кількості..

Ринок збуту буде розширений в Україні.

Кваліфікація персоналу: - всі категорії персоналу – спеціалісти, службовці, робітники

Конкурентні переваги:

1. якість;
2. екологічність;
3. Зручність.

Даний бізнес-план розглядає 3 перших роки роботи підприємства.

Загальні інвестиції в проект: 3 000 000 грн (інвестовані кошти)

5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства

5.2.1 Загрози і можливості зовнішнього середовища

Таблиця 5.1 – Оцінка загроз і можливостей зовнішнього середовища

Загрози	Можливості
Політика	
<ul style="list-style-type: none"> - Нестабільна політична ситуація, що може призвести до зниження рівня продажу; - Напружена ситуація з сусідніми країнами, що може перешкоджати експорту продукту; - Зменшення підтримки розвитку наукових досліджень з боку держави. 	<ul style="list-style-type: none"> Співпраця з іноземними компаніями та експорт продукції закордон; Позитивне просування в налагоджуванні зв'язків з країнами ЄС, що відкриває нові ринки збуту; Співпраця із закордонними інститутами та компаніями.
Економіка	
<ul style="list-style-type: none"> Зміна курсу гривні (інфляція); Здорожчання обладнання та сировини, тарифів на опалення та електроенергію. Розривання угод в зв'язку з високої вартості послуг Погіршення платоспроможності населення; 	<ul style="list-style-type: none"> Можливість взяти довгостроковий кредит; Можливість зменшення ціни на продукт, за рахунок дешевшої сировини, що зробить продукт більш конкурентоспроможним. Зменшення кількості конкурентів; Залучення нових клієнтів, більш платоспроможних
Географія	

Військові дії на частині території України	Можливість поширення продукції сусіднім країнам Можливість використання державної підтримки, в т.ч. «зеленого тарифу»
Культура	
Низький рівень обізнаності людей з даною технологією.	Можливість показати населенню, що використання біогазу є економічно доцільним.
Науково – технічний прогрес	
Недосконала система економічної мотивації сільськогосподарських підприємств для переходу на виробництва біоенергетичних культур	Передача знань і досвіду в галузі управління біовиробництвом. Швидкий розвиток технологій біовиробництва; Можливість виходу на міжнародний ринок.

5.2.2 Переваги та недоліки внутрішнього середовища

Таблиця 5.2 – Оцінка переваг та недоліків внутрішнього середовища

Переваги	Недоліки
Постачальники	
Доступність та дешевизна сировини Наявність постачальників сировини і матеріалів в Україні; Швидка та недорога доставка товару.	Невчасне постачання товару; Для забезпечення якісного проведення процесу, необхідна закупка обладнання, що виготовляється зарубіжними фірмами.
Виробник	
Низька чисельність персоналу; Часткова зайнятість персоналу; Витрати на транспорт бере на себе замовник.	Значні витрати на зп кваліфікованим співробітникам – 35 % від собівартості.
Споживач	
Помірна ціна Зацікавленість споживачів у використанні продукції; Безпечність розробки для споживачів.	Погана обізнаність з препаратами даного спектру Збільшення кінцевої вартості через наявність посередників Недовіра щодо стабільності в

	постачанні продукту
Посередник	
Посередником є замовник, який бере на себе транспортні розходи і надає необхідне приміщення; Можливість продажу в різних біотехнологічних виробництвах..	Залежність від замовника; Збільшення кінцевої вартості.
Конкуренти	
Постачання більш якісного продукту.	Наявність конкуренції з іншими поставниками продукту.

5.2.3 Оцінка ринку збуту та конкурентного середовища за методом квадрату Бостонської матриці

Побудова матриці.

У матриці індикатором привабливості є два чинники, темпи зростання ринку та індикатор конкурентоспроможності — відносна частка ринку (щодо основного конкурента). На вертикальній лінії матриці зобразимо середні показники темпу зростання ринку збуту, на якому працює компанія. На горизонтальній лінії матриці зобразимо відносні показники частки ринку (який може бути рівний одиниці, якщо частка ринку компанії і її конкурента однакові), бути більше (якщо частка ринку компанії буде значно більше чим у конкурента), бути менше (якщо компанія займає меншу частину ринку).

Далі поле матриці ділимо на чотири квадрати. Вертикальна лінія проходить через точку 1,0, горизонтальна — через середнє значення показників темпу зростання ринку, на якому працює компанія. Позиція кожного підрозділу зображена кругами, площа яких відповідає кількості прода.

Щодо позицій у матриці ділимо її на чотири типи СХП, за кожним з них можуть формуватися окремі стратегії:

- 1) «важка дитина»;
- 2) «зірки»;
- 3) «дійна корова»;
- 4) «собака».

Таблиця 5.3 Характеристика СЗГ

Види продукції		Показники		
		Темп зростання ринку, %	Обсяг реалізації продукції підприємством, тис. грн	Обсяг реалізації продукції в галузі, тис. грн
Біопаливо сільгоспсировини СГЗ1	із	100	40000	150000
Біопаливо відходів СГЗ 2	із	120	22400	880000

Відносна частка ринку визначається як частка ринку бізнес-одиниці, поділена на частку ринку найбільшого конкурента і розраховується за формулою:

$$ВЧР = \frac{ОП_n}{ОП_g} \times 100, \%$$

де $ОП_n$ - Обсяг реалізації продукції підприємством, тис. грн

$ОП_g$ - Обсяг реалізації продукції в галузі, тис. грн

Для побудови матриці БКГ по горизонтальній осі фіксують значення відносної частки ринку, а по вертикальній - темпи росту галузевого ринку. Утворену площину поділяють на частини, отримуючи матрицю БКГ

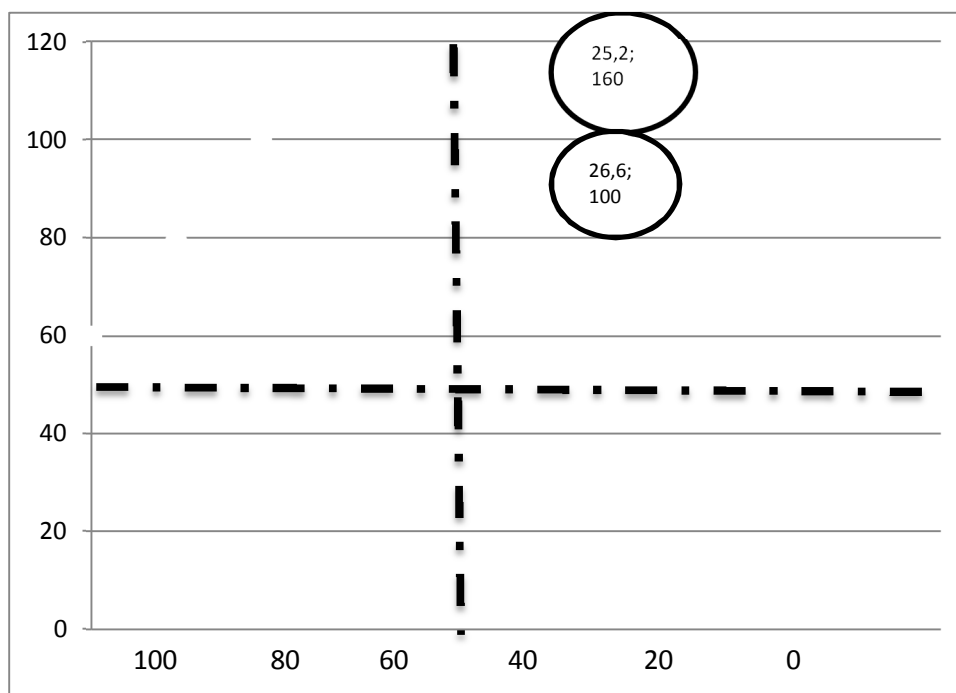
$$ВЧР_1 = 40000 / 150000 * 100\% = 26,6\%$$

$$ВЧР_2 = 22400 / 88800 * 100\% = 25,2\%$$

Отже, точки СГЗ будуть мати наступні координати

СГЗ₁ - (26,6;100)

СГЗ₂ - (25,2;160)



Можна зробити висновок, що СГЗ1 і СГЗ 2 знаходяться в зоні «Знак питання». Це зона, в якій перспективним є високий темп зростання, низька частка ринку. Для збільшення частки потрібні великі вкладення, що можуть перетворити продукт на зірку

Судячи з даних розрахунків, біопаливо із сільгоспсировини є більш прибутковим напрямком діяльності.

5.2.4 Місце розробки у системи цінностей підприємства за методом Бостонської матриці

Впровадження даної розробки дозволить розширити асортимент та підвищити обсяги збуту, продукт даної розробки отримання біогазу може стати одним з найперспективніших товарів, оскільки дана розробка є унікальною і не має конкурентів в Україні. Враховуючи унікальність продукту розробки, то продукт можна віднести до позиції «Зірки» в системі цінності підприємства.

«Важкими дітьми» Бостонської матриці виступає Перетворення органічних решток на біогаз відбувається внаслідок цілого комплексу

складних біохімічних перетворень. Цей процес отримав загальну назву ферментації біомаси. Він відбувається лише завдяки бактеріям і здійснюється у спеціальних технологічних установках – ферментаторах. Необхідність створення та підтримування оптимальних умов для росту й існування культури бактерій у ферментаторі визначає собівартість одержання біогазу.

5.3 Ключові фактори успіху проекту

5.3.1 Оцінка ключових факторів успіху методом Шонфільда

Оцінка конкурентоспроможності проводилась методом Шонфільда. Оцінка показника якості продукту. рисунок 5.1.

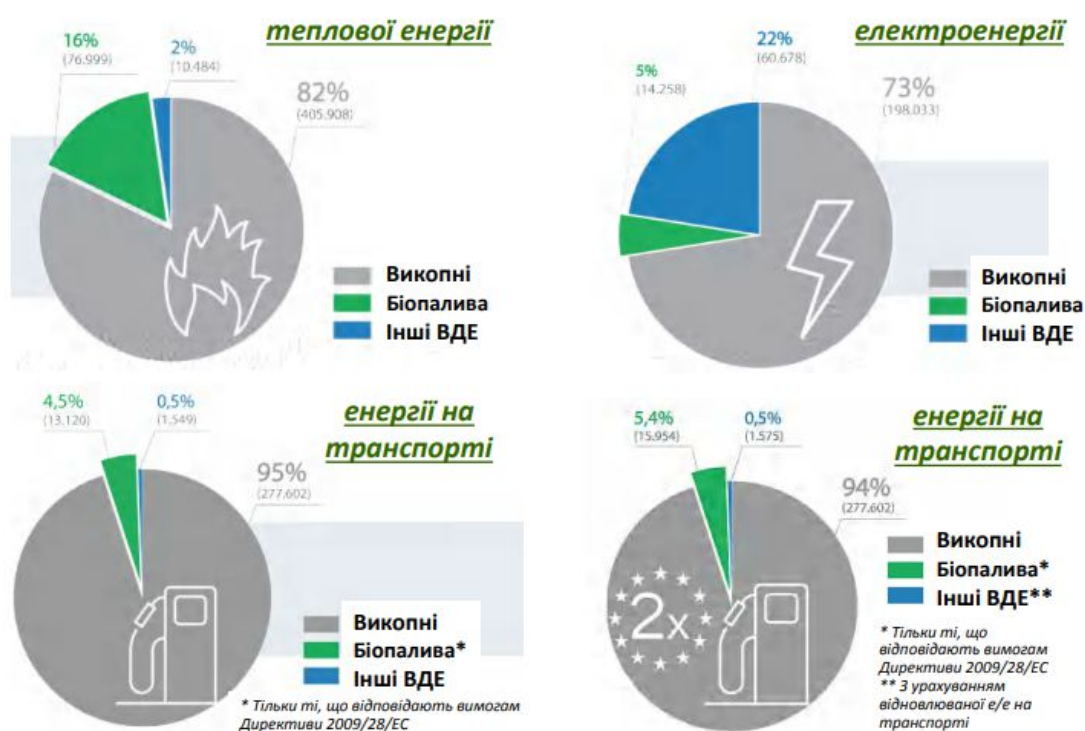


Рисунок 5.1 – Графічне зображення оцінок конкурентоспроможності

Отже, розроблений продукт є конкурентоспроможним. Ключовим фактором проекту є ефективність біопалива.

5.3.2 Анкета для споживачів

Опитування для визначення характеристик українських споживачів біогазу

Вкажіть, будь ласка інформацію про себе:

Стать _____

Вік _____

Місцезнаходження _____

Освіта _____

Робота _____

Будь ласка, вкажіть відповіді на наступні питання:

1. Чи відомо вам щось про біотехнології?

А)Так

Б)Ні

В)Важко відповісти

2.Які види біопалива вам знайомі ?

3. Ваше ставлення до переходу на біопаливо:

А)Позитивне

Б)Негативне

В)Нейтральне

4. Ваше ставлення до пошуку нових джерел природної енергії та її використання

А)Позитивне

Б)Негативне

В)Нейтральне

5.4 Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки

5.4.1 Договір на виконання НДР

ДОГОВІР № _____

на виконання науково-дослідних робіт

м. Київ

“ _____ ” _____ 20__ р.

ТОВ «ЗОВ Біогаз Україна», в особі директора Пеияк І.В., діючого на підставі Статуту, далі – **Виконавець** і **Замовник**: _____, в особі _____ діючого на підставі _____, уклали договір про наступне.

1. Предмет договору

1.1. Замовник доручає, а Виконавець бере на себе зобов'язання провести за завданням Замовника наукові дослідження:

найменування наукової теми

а Замовник зобов'язується прийняти виконану роботу та оплатити її.

1.2. Наукові, технічні, економічні та інші вимоги до наукової продукції, що є предметом договору, визначаються Технічним завданням, яке є невід'ємною частиною цього договору

1.3. Термін здачі робіт за договором «_____» _____ 20__ р.

1.4. Зміст, терміни виконання основних етапів визначаються Календарним планом, що є невід'ємною частиною цього договору.

1.5. Прийняття та оцінка наукової продукції здійснюються відповідно Технічному завданню.

1.6. Виконані за договором наукові дослідження є власністю Замовника з урахуванням того, що права винахідника охороняються патентним законодавством, а права автора – авторським правом. При використанні інших додаткових джерел фінансування право сторін на створену продукцію погоджується сторонами в додатковій угоді.

1.7. Виконавець може використовувати результати теми для власних потреб з науковою метою, а для отримання прибутку лише за умов, визначених додатковою угодою.

2. Вартість робіт та порядок розрахунків

2.1. Вартість наукової роботи визначається календарним планом та складає

3000 тис. грн. _____ в т.ч. ПДВ

_____ *сума в гривнях прописом*

відповідно до Протоколу узгодження вартості науково-технічної роботи (Додаток 3).

Без ПДВ (згідно із ст. 197.1.22. Податкового Кодексу України).

Планова калькуляція кошторисної вартості робіт та розрахунки витрат за статтями наведені у Додатку 4.

2.2. Оплата за кожний етап проводиться у такі терміни:

а) у строк до 10 календарних днів Замовник оплачує Виконавцю 50% від загальної суми етапу.

б) 50% від загальної суми цього етапу перераховується Виконавцю Замовником у строк до 3 банківських днів після підписання акту прийому-передачі.

2.3. Остаточний розрахунок за кожним етапом здійснюється після здачі роботи за актом прийому-передачі в термін 3 банківських днів зі дня його підписання.

3. Порядок та строки здавання і приймання робіт

3.1. Перелік наукової, технічної та іншої документації, що підлягає оформленню та здаванню Виконавцем Замовнику на окремих етапах виконання і по закінченню договору, визначається технічним завданням, що є частиною договору (додаток 3).

3.2. Виконання проміжних етапів оформлюється Виконавцем актами здачі-приймання, які направляються Замовнику відповідно до календарного плану.

3.3. При завершенні робіт Виконавець подає Замовнику акт здачі-приймання наукової продукції з додаванням до нього комплексу наукової, технічної та іншої документації, передбаченої технічним завданням та умовами договору.

3.4. Замовник протягом 5 робочих днів з дня отримання акту здачі-приймання робіт та звітних документів, зазначених у п. 3.3 цього договору, зобов'язаний надіслати Виконавцю підписаний акт здачі-приймання наукової продукції або мотивовану відмову від приймання робіт.

3.6. У разі дострокового виконання робіт Замовник має право достроково прийняти та оплатити їх за ціною, що вказана в договорі.

3.7. Якщо в процесі виконання роботи з'ясовується недоцільність подальшого її проведення, Виконавець повинен призупинити роботу та повідомити про це Замовника протягом 5 робочих днів після її призупинення. Після повідомлення сторони повинні протягом 10 днів розглянути питання про доцільність продовження роботи. Відповідне рішення оформлюється Протоколом сторін.

4. Відповідальність сторін

4.1. За невиконання або неналежне виконання зобов'язань за цим договором Виконавець та Замовник несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.2. В разі виникнення форс-мажорних обставин Замовник зобов'язаний надіслати письмове повідомлення виконавцю не пізніше 15 днів з моменту їх виникнення.

4.3. Науково-дослідна робота виконується за відкритим планом, без обмежуючих грифів.

4.4. Якщо відповідний спір не можливо вирішити шляхом переговорів, він вирішується у Господарському суді Одеської області.

5. Інші умови

5.1. За згодою сторін зміст пунктів технічного завдання, термін дії Договору або етапів Календарного плану, а також вартість робіт за договором (в тому числі при несвоєчасному отриманні Виконавцем фінансування на виконання цієї роботи) можуть бути змінені в процесі виконання роботи, що оформлюється додатковою угодою, яка є невід'ємною частиною Договору. Внесення змін до калькуляції кошторисної вартості проводиться за 30 днів до початку наступного етапу на підставі додаткової угоди до цього Договору.

5.3. Інші умови за розсудом сторін

6. Термін дії договору та юридичні адреси сторін

6.1. Договір набирає чинності з моменту підписання і діє до ____ 20__р.

6.2. Юридичні адреси і банківські реквізити:

5.4.2 Калькуляція на продукцію

Згідно Податкового кодексу термін експлуатації наступних основних фондів та амортизаційні відрахування наведено в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Вартість основних фондів

№	Найменування	Кількість, шт	Вартість, грн	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн
1.	Будівлі (склад, лабораторія, виробниче приміщення)	3	500000	20	100000
2.	Транспорт	4	400000	20	80000
3.	Машинне обладнання	3	1000000	20	200000
4.	Виробничий інвентар		39000	20	7800
	Загальна вартість		1939000		387800

Сума амортизаційних відрахувань за рік визначається за формулою

$$\sum A_p = \frac{O_{\text{Фп}} \cdot N_p}{100\%} (\text{грн})$$

де $\sum A_p$ - сума амортизаційних відрахувань за рік; $O_{\text{Фп}}$ - повна початкова вартість об'єкта.

N_p - річна норма амортизації до первісної (відновлювальної) вартості об'єкта амортизується майна (у відсотках);

Сума амортизаційних відрахувань за рік складе

$$\frac{500000 \cdot 20\%}{100\%} = 100000 \text{ грн} \quad (1)$$

$$\frac{400000 \cdot 20\%}{100\%} = 80000 \text{ грн} \quad (2)$$

$$\frac{1000000 \cdot 20\%}{100\%} = 200000 \text{ грн} \quad (3)$$

$$\frac{39000 \cdot 20\%}{100\%} = 7800 \text{ грн} \quad (4)$$

Оборотні фонди підприємства:

1. Вартість сировини вказана на таблиці 5.5

Таблиця 5.5 Витрати сировини на 10 г нанокompозитів

Показники	Одиниця виміру	Обсяг завантаження гною на БЕУ, тонн/добу				
		20	40	60	80	100
Собівартість 1 тонни гною	грн	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1

2. Витрати на електроенергію.

Таблиця 5.6 Потужність обладнання

Показники	Одиниця виміру	Обсяг завантаження гною на БЕУ, тонн/добу				
		20	40	60	80	100
Разом витрат на електроенергію	Тис.грн	67.5	101.2	134.9	168.6	202.4

Тариф на електричну енергію для юридичних осіб становить 3 грн за кВт·год електроенергії. $E = 10.0 \cdot 3 = 30.0$ грн

3. Витрати на ФОП:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Нарахування}$$

Заробітна плата працівникам, що були залучені до роботи становить.

$$\text{ФОП} = 8700 \cdot 1,22 = 125280 \text{ грн},$$

де 1,22 – це нарахування на заробітну плату в розмірі 22 %.

Калькуляція на випуск продукції наведена а таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Калькуляція на випуск продукції.

№	Статті калькуляції	Сума, грн.
1.	Заробітна плата	104400
2.	Нарахування на заробітну плату	20880
3.	Сировина	144720
4.	Матеріали	7800
5.	Витрати на електроенергію	48000
6.	Витрати на водопостачання	0
7.	Амортизація	387800
Всього		713600

Собівартість продукції за рік:

$$C_{\text{рік}} = \text{Обз} + A = 104400 + 20880 + 144720 + 48000 + 7800 + 387800 = 713600 \text{ грн/рік.}$$

В результаті роботи біогазові установки затрати на рік становлять 713600 грн/рік

Капіталовкладення за рік:

$$K = OF + \text{Обз} = 1939000 + 282600 = 2221600 \text{ грн.}$$

5.5 Ризики і страхування

Ступінь впливу на дохід підприємства та ймовірність настання ризиків (100 балів – обов’язково станеться; 10 балів – ризик можливий, але малоімовірний) наведено в таблиці 5.8

Таблиця 5.8 – Оцінка можливих ризиків.

Ризик	Коефіцієнт впливу на дохід	Експертна оцінка настання ризику, балів
Комерційні ризики		
Конкуренти з більш низькою ціною	0,7	10
Нестача коштів, необхідних для стабільної діяльності	0,9	20
Відсутність споживчого попиту на продукт	0,97	10
Втрата джерела фінансування проекту в процесі його реалізації	1,0	10
Організаційні ризики		
Складність із забезпеченням робочої групи кадрами необхідної кваліфікації	0,8	30
Проблеми своєчасного постачання матеріально-технічних ресурсів	0,9	50
Проблеми із ритмічністю виробничого процесу	0,9	10
Технічні ризики		
Поломка обладнання	0,9	20
Необхідність доопрацювання в процесі виробництва технології виготовлення продукції	0,8	20
Фінансові ризики		
Інфляція	0,75	30
Ризик неплатоспроможності споживачів	0,75	30

Задля попередження можливих ризиків і зменшення їх можливих повторень, проводяться наступні заходи:

1. Проведення маркетингових досліджень та перевірка потреб споживача.
2. Залучення зовнішніх спеціалістів з тих областей, де ризик найбільш імовірний.
3. Співпраця з виробниками складових продукції
4. Прийом на роботу лише висококваліфікованих та дисциплінованих працівників, які мають хороші рекомендації.
5. Обговорення у договорах з постачальниками сировини і матеріалів порядку відшкодування збитків, заподіяних несвоєчасною поставкою сировини. Створення резервного запасу сировини та матеріалів на підприємстві.
6. Співробітництво з високотехнічними виробниками та іноземними виробниками.
7. Орієнтація на визначену категорію споживачів та на постійних клієнтів.
8. Підтримка науково-дослідних установ, які займаються розробкою новинок у даній галузі.
9. Страхування майна.
10. Прогнозування можливих ризиків.
11. Ретельне проведення дослідно-випробувальних робіт.

Щодо страхування, на підприємстві планується здійснити такі види страхування:

1. Договір на поставку сировини постачальниками
2. Договір на доставку продукції замовникам
3. Страхування власного виробництва від впливу різних несприятливих факторів (пожежа, відключення електроенергії і ін.)
4. Соціальні страхування співробітників підприємства.

ВИСНОВКИ

1. На основі огляду літератури була обрана конструкція анаеробного реактора, яка представляє собою горизонтальний циліндричний апарат, що складається з корпусу, сорочки, приводу, підшипникового вузла з ущільненнями, штуцером завантаження свіжого субстрату, для вивантаження відпрацьованого субстрату, для відведення біогазу. За рахунок цього збільшується ефективність перемішування і забезпечується необхідний температурний режим роботи реактори.

2. Теоретичний аналіз процесу перемішування рідини біля горизонтальної трубки перемішуючого пристрою дозволив провести розрахунки потужності, яка витрачається перемішуючим пристроєм на подолання опору середовища рухові трубок. Числовий аналіз показує, що конструкція перемішуючого пристрою забезпечує інтенсивний теплообмін між теплоносієм перемішуючого пристрою і середовищем, що сприяє рівномірному розподіленню температур в реакторі.

3. Розроблена 3D-модель анаеробного реактора для виробництва біогазу, де наглядно можна оцінити його особливості конструкції, основні складальні одиниці та місця з'єднань трубопроводів.

4. Запропонована апаратурно-технологічна схема установки для виробництва біогазу з відходів тваринництва.

5. Спроекований горизонтальний циліндричний анаеробний реактор. Проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність даного апарату. Розроблена необхідна конструкторська документація.

6. Розроблено стартап проект.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Курис Ю.В. Особенности технологии и методы интенсификации анаэробного сбраживания [Текст]. Ю.В. Курис, С.И. Ткаченко, А.Ю. Майстренко// Новини енергетики. – 2008. – № 11. 35-41с.
2. Семененко, И. В. Проектирование биогазовых установок [Текст]. И.В.Семененко. - Сумы. ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996-347 с.
3. Гелетуха Г.Г. Перспективы развития современные технологий анаэробного сбраживания биомассы в Украине (Обзор) [Текст].Г.Г. Гелетуха, Кобзар С.Г. // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2002. - № 5. . 3-9с.
4. Abdel-Hadi M.A. Effect of heating, mixing and digester type on biogas production from buffalo dung [Текст]/ Abdel-Hadi M.A., Abd El-Azeem S.A.M.// Biological Engineering. 2008. - № 25(4). – P. 1454-1477.
5. Manual Brehmer. Mixing performances in biogas plants [Текст]/ Manual Brehmer, Matthias Kraume// 14th European Conference on Mixing, Warszawa, 10-13 September 2012.– P. 37-42.
6. Кучерук П. П. Биогазовые установки в сельском хозяйстве и на станциях очистки сточных вод [Текст] : П. П. Кучерук / / Учебный курс: От природного газа к биомассе / Кучерук П. П. – ИТТФ НАНУ, 2009. – 25 с.
7. Дубровский В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов [Текст] / В. С. Дубровский, У. Э. Виестур. – Рига : Зинатне, 1988. – 204 с.
8. Lehtomäki Annimari Biogas production from energy crops and crop residues Jyväskylä [Текст]: University of Jyväskylä, 2006, 91p. (Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science, ISSN 1456-9701; 163).
9. Soldano M. Co-digestion plant in diary cattle farm in Emilia Romagna region (Italy) [Текст] / M. Soldano, C. Fabbri, S. Piccinini / / Progress in Biogas Stuttgart-Hohenheim. 2007. – P. 95-99.
10. Ferreira L. Fruit wastes bioconversion for anaerobic co-digestion with pig manure. Process development for the recycling in decentralized farm scale

plants. [Текст] / Luís Farreire, Elizabeth d'Almeida Duarte, Carla Silva, Manuel Malfeito-Ferreira // Progress in Biogas Stuttgart-Hohenheim. 2007. – P. 135-140.

11. Azaizeh H. Co-digestion of olive mill wastewater and swine manure using UASB bioreactors for biogas production [Текст] / Hassan Azaizeh, Jeries Jadoun // Progress in Biogas Stuttgart-Hohenheim. 2007. – P. 267-271.

12. Kryvoruchko V. Influence of nutrient composition on methane production from animal manures and co-digestion with maize and glycerine [Текст]/ V. Kryvoruchko, T. Amon, B. Amon, J. Boxberger, M. Schreiner, W. Zolitsch // Науковий вісник Національного аграрного університету України. 2004. - № 73. 143-148с.

13. Біопаливо. [Текст]. Рубан Б. О. Основні проблеми створення біогазових установок / Б. О. Рубан, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. – С. 195-201ва (Технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.]. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.: іл.. 157

14. Джеджула В. В. Обґрунтування параметрів обладнання для виробництва біогазу при утилізації органічних відходів сільськогосподарських підприємств [Текст] : автореф. Дис. На здобуття наук. Ступеня канд.. техн.. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В. В. Джеджула. – Вінниця, 2007. – 21 с.

15. Рубан Б. О. Основні проблеми створення біогазових установок [Текст]/ Б. О. Рубан, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. 195 - 201 с.

16. Шацький В. В. Виробництво біогазу в сільському господарстві в Україні [Текст] / В. В. Шацький, В. М. Павліченко, Г. Є. Мовсесов // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. 104-108 с.

17. Огляд технології анаеробного перероблення органічних відходів [Текст]: Й.Мисак, Я. Гнатишин, Т. Шумський // Вісн. Нац. Ун-ту «Львів. політехніка». – 2004. - № 506: Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. 62-67 с.
18. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти [Текст]: Монографія / Ю. В. Куріс, І. Ф. Червоний. – Запоріжжя, ЗДІА, 2010. – 488 с.
19. Гелету́ха Г. Г. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Железна, Ю. Б. Матвеев, М. М. Жовнір [Текст]: Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. 131-138 с.
20. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении [Текст]: Когановский А. М., Клименко Н. А., Шевченко Т. М., Марутовский Р. М., Рода И. Г. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
21. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. – М.: Издательство моск. ун-та, 1992. – 50 с.
22. Намсараев Б. Б., Абидуева Е. Ю., Лаврентьева Е. В. Экология микроорганизмов экстремальных водных систем [Текст]: учеб. пособие. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2008. – 94 с.
23. Иванов А. Н. Изучение влияния животноводческих комплексов на окружающую среду и инфекционную заболеваемость населения [Текст] / А. Н. Иванов // Гигиена и санитария. – 1986. - №9.
24. Баадер В. Биогаз: теория и практика [Текст]: / Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. с нем. М.И. Серебряного. – Москва : Кобос, 1982. – 148 с.
25. Alcaraz Gonzalez, Victor. Estimation et commande robuste non-lineaires des procedes biologiques de depollution des eaux usees : application a la digestion anaerobie: дис. док. техн. наук [Текст] / Victor Alcaraz Gonzalez. – Universite de Perpignan, 2001. – 270 с.
26. Ружинська Л.І., к.т.н., Фоменкова А.О., аспірант, Морозова Є.В., студент. Огляд конструкцій анаеробних біореакторів [Текст]: // Науково-

технічний збірник “Комунальне господарство міст. – 2013. - (ХНАМГ) Харків, № 107 2013.

27. Guyot, Jean-Pierre. Etude de quelques interactions microbiennes lors de la digestion anaerobie de la matiere organique par des cultures mixtes definies ou naturelles: дис. док. биол. наук. [Текст] / Jean-Pierre Guyot. – Aix-Marceille, 1990. – 123с.

28. Калюжный, С.В. Высокоинтенсивные анаэробные технологии очистки промышленных сточных вод [Текст] / С.В. Калюжный // Катализ в промышленности. – 2004. – № 6. 42-50 с.

29. Качан, Ю.Г. Математическое моделирование процессов в биогазовой установке [Текст] / Ю.Г.Качан, Ю.В. Курис, И.Н. Левицкая // Наука - науково-технічному прогресу в паливно-енергетичному комплексі. – 2009. - №5. 24-28 с.

30. Lyberatos, G. Modelling of anaerobic digestion - a review [Текст] / G. Lyberatos, I.V. Skiadas //Global Nest: the Int. J. – 1999. – Vol 1, № 2. 63-76 с.

31. Mandy Gerber. An analysis of available mathematical models for anaerobic digestion of organic substances for production of biogas [Текст] / M. Gerber, R. Span. – Paris: International gas union research conference, 2008. – 30 с.

32. Л.І. Ружинська, В.М. Поводзинський, Є.М. Чередник, Є.В. Морозова. Математичне моделювання перемішування культивування біологічних агентів, чутливих до напружень зсуву // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, №1 2013.

33. Юдаев Б. Н. Техническая термодинамика. Теплопередача[Текст] : Учеб. для неэнергетич. спец. втузов.—М.: Высш. шк., 1988.- 479 с.

34. Braun R. Bigas production from industrial and agricultural wastes [Текст] / R. Braun, I. Meynath // Adv. Biotechn- 1981, Vol.2.

35. П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев, Т.В. Ходаківська, Г.Г. Гелетука, Є.В. Морозова, Є.С. Перерва. Дослідження ефективності сумісного зброджування гною свиней та силосу кукурудзи [Текст]: // Збірник наукових праць Інституту

механізації тваринництва НААН України «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві» № 2(8). – 2011. 38-45 с.

36. Соппротивление материалов: учебник для вузов [Текст] / Под общ. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. – 4-е изд. перераб. и доп. – Киев: высшая школа. Главное изд-во, 1979. – 696 с.

37. Гюнтер Л. И., Гольдфарб Л. Л. Метантенки. – М.: Строй-издат, 1991. – 128 с.

38. Тарагоня В.С. Обґрунтування основних параметрів метанового зброджування безпідстилкового гною великої рогатої худоби[Текст]: Автореф. Дис. канд. с.-г. наук: 03.00.20 // Білоцерк. аграр. ун-т. – Біла Церква, 1999. – 19 с.

39. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв[Текст]: Навч. посібник. У 3 ч. – Ч.1. Ферментація. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 240 с.

40. Методические указания к гидродинамическим расчетам аппаратов с мешалками в курсовом и дипломном проектировании для студентов IV и V

курсов специальности 17.05 «Машины и аппараты химических производств» [Текст]/ Сост. Л. И. Белкин, В. В. Иванченко, А. И. Барнин. – Днепропетровск ДХТИ, 1990. – 36 с.

41. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии[Текст]: учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с.

42. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию [Текст]/ Под. ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.

43. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Л., «Машиностроение», 1970 г. - 752 с.

44. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л. [Текст]: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1981 г. – 382 с.

45. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные. Основные размеры. - 13 с.

46. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Введ. 01.01.90.

47. Алгоритм розрахунку на вібростійкість валів механічних перемішуючих пристроїв: Методичні вказівки до застосування обчислювальної техніки в курсі «Розрахунок та конструювання машин та апаратів хімічних виробництв» для студентів спеціальностей 0516, 0558 всіх форм навчання [Текст]: Укл. В.Г. Доброногов, О. Г. Зубрій, Л. Г. Воронін. – К: КПІ, 1988. – 52 с.

48. Алгоритм розрахунку на міцність валів механічних перемішуючих пристроїв: Методичні вказівки до застосування обчислювальної техніки в курсі «Розрахунок та конструювання машин і апаратів хімічних виробництв» для студентів спеціальностей 17.05.02/ 0516 /, 17.04.04 / 0558 / всіх форм навчання [Текст]: Скл. В.Г. Доброногов, О. Г. Зубрій, Л. Г. Воронін. – К: КПІ, 1990. – 39 с.

49. Алгоритм розрахунку на жорсткість валів з механічними перемішуючими пристроями: Методичні вказівки до застосування обчислювальної техніки в курсі «Розрахунок та конструювання машин та апаратів хімічних виробництв» для студентів спеціальностей 17.05.02 (0516), 17.04.04 (0558) всіх форм навчання [Текст]: Скл. В.Г. Доброногов, О. Г. Зубрій, Л. Г. Воронін. – К: КПІ, 1989. – 60 с.

50. Идельник И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

51. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учеб. Пособие для вузов [Текст] / Танатаров М. А., Ахметшина М. Н., Фасхутдинов Р. А. и др. М.: Химия, 1987. 352 с.

52. . Орленко, А. Т. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці” в дипломних проектах і роботах [Текст] / А. Т.Орленко, Н. А. Праховнік, Ю. О. Полукаров. – К.: «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2007. – 22 с.

53. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

54. Макаров, Г. В. Охрана труда в химической промышленности [Текст] / Г. В. Макаров, А. Я Васин. и др. – М.: Химия, 1989 – 352 с.

55. Вредные вещества в промышленности. [Текст]: Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том I. Органические вещества. Под ред. Засл. деят. науки проф. Н. Ф. Лазарева и докт. Мед. Наук Э.Н. Левиной. Л., «Химия», 1976. – 592 с.

56. Внутренние санитарно-технические устройства [Текст]/ под ред. Староверова. – Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха И. Г. – М.: Стройиздат, 1978. – 509 с.

57. Голубенко О.Л. Охорона праці у машинобудівному виробництві [Текст]: Підручник/ Голубенко О.Л., Касьянов М.А., Гунченко О.М., Кожин В.М., Медяник В.О., Сало В.І., Гапонов В.В. – Луганськ: Вид-во Східноукр. Нац.. ун-ту ім.. В. Даля, 2010. – 456 с.

58. ДБН В.2.5-28-2006 «Естественное и искусственное освещение».

59. Основы охорони праці [Текст]: підручник./ під. ред. Ткачука К. Н. – Вид. 2-ге. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

60. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химических лабораториях [Текст]: Справ, изд. – 2-е изд., перераб. И доп. Л.; Химия, 1991. - 336 с.

61. Рябов И.В. Пожарная безопасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности [Текст]/ И.В. Рябов/ – М.Химия, 1970. – 336 с.

62. Иванов Б.И. Пожарная безопасность в химических лабораториях[Текст] / М.:Химия, 1988. - 112 с.
63. ГОСТ 12.1.005-88 "Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".
64. Димиденко, Г. П. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до виконання практичних, індивідуальних та домашніх контрольних робіт [Текст] / Г. П. Димиденко. – К.: «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2007. – 84 с.
65. ДБН В.1.1-7-2002 «Захист від пожеж. Пожежна безпека об'єктів будівництва».
66. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление [Текст]: Справочное пособие.-М.: Энергоатомиздат, 1990, - 367с

ДОДАТОК А Заявка на корисну модель

Державне підприємство "Український інститут інтелектуальної власності" (УКРПАТЕНТ)
(01601, м. Київ-42, вул. Глазунова, 1)

Розписка про одержання заявки на корисну модель
Вх. №170893 Дата одержання 01.11.2018 13:58:44

№ 2018 10818 (в подальшому обов'язково посилатись на цей номер)

ЗАЯВНИК
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

НАЗВА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ
МЕТАНТЕНК

АДРЕСА ДЛЯ ЛИСТУВАННЯ
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Відділ з питань інтелектуальної власності та комерціалізації наукових розробок, пр-кт Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056

ПОДАНІ МАТЕРІАЛИ
18/ЗУ/Вх№69539 Заява про видачу патенту на винахід (КМ)
18/ЗУ/Вх№69541 Формула винаходу (КМ) (арк. - 1, прим. - 3).
18/ЗУ/Вх№69540 Опис винаходу (КМ) (арк. - 2, прим. - 3).
18/ЗУ/Вх№69542 Реферат (арк. - 1, прим. - 3).
18/ЗУ/Вх№69543 Креслення (арк. - 1, прим. - 3).
18/ЗУ/Вх№69544 Документ додаток
18/ЗУ/Вх№69545 Квитанція № 1845.1, дата 29.10.2018, сума 80,00 грн.

Прийняв(ла) _____ **Гуртова Т.В.**

01 ЛИС 2018

УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ (УКРПАТЕНТ)

ДОДАТОК Б Специфікації